

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외관조사

3.3 내구성시험

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

목주교는 충청남도 천안시 목천읍 운전리에 위치한 교량으로써, 2004년 8월에 준공되어 약 11년의 공용기간이 경과되었고, 일반국도 21호선에 위치하고 있다. 교량의 연장은 390.0m의 9경간 1층 시설물로써, 상부구조는 강박스 거더(STB)형식 4련으로 시공되어 있으며, 하부구조는 교각 8기(Ⅱ형)와 교대 2기(역T형)로 구성되어 있다.

본 장의 세부내용은 다음과 같다.

외관조사는 대상구조물에 대한 최소한의 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 변화되는 결함의 발견 및 변화상태 등을 추적하기 위한 것으로서 가장 기본이 되는 과업이다.

내구성조사는 구조물에 열화가 진행되었을 경우 열화의 정도 및 원인관계를 조사하고 보수·보강여부를 판정하며, 아직 열화가 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업대상 구조물의 현장조사 및 시험은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)에 따라 각 항목별로 실시하였다.

외관조사는 교면포장, 방호벽, 신축이음장치, 배수구, 교대 등 접근이 가능한 부재는 도보 점검으로, 바닥판하면, 거더, 가로보, 받침장치, 교각 등 근접조사가 필요한 부재는 교량점검차 및 점검사다리를 이용하여 상세 육안조사를 실시하였다.

현장 조사시 확인된 결함과 손상내용에 대해서는 사진을 촬영하고 외관조사망도에 수록하여 향후 보수·보강공사 및 점검 등의 유지관리에 효율적으로 활용될 수 있도록 하였다.

3.2 외관조사

	
교량점검차를 이용한 현장조사 ①	교량점검차를 이용한 현장조사 ②
	
사다리를 이용한 현장조사 ①	사다리를 이용한 현장조사 ②
	
단면 제원 조사	도보 점검

<사진 3.1> 외관조사 현황

3.2.1 부재별 외관조사 결과

가. 교면포장 및 보도부

목주교는 9경간의 왕복4차선 교량으로 총 연장 390.0m, 전체 폭 20.5m의 교량이다.



〈사진 3.2〉 교면포장 전경

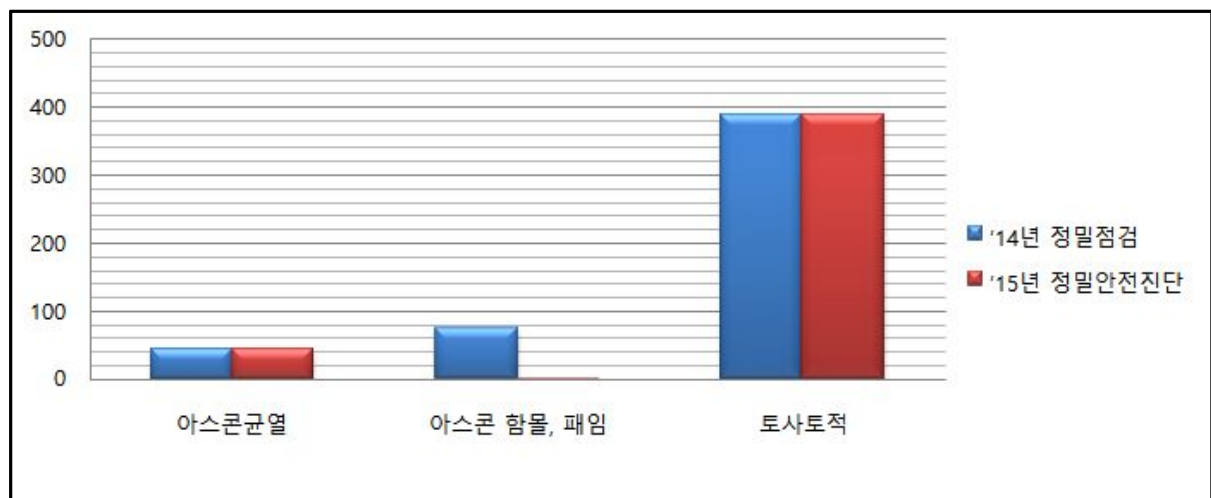
본 교량의 교면은 아스콘 포장으로 시공되었으며, 외관조사결과 아스콘 균열, 아스콘 패임, 포장부 토사퇴적 등이 발생된 것으로 조사되었다. 2014년 정밀점검 이후 재포장이 실시된 것으로 추정되며, 현재 발생된 손상부는 재포장시 충분한 다짐이 시행되지 않은 손상으로 상태는 경미한 정도이며, 기 손상부는 지속적인 관찰 후 진전시 아스콘 패칭 등의 조치가 필요 하다. 바닥판하면에 포장부 누수로 인한 손상(균열부 백태) 등의 손상은 없는 것으로 보아, 재 포장시 방수층 등이 양호하게 시공 되어진 것으로 판단된다.

〈표 3.1〉 교면포장 물량표

손상명	아스콘균열(m/개소)	아스콘 패임(m ² /개소)	토사퇴적 (m ² /개소)
S1	-	-	64.5/2
S2	-	-	64.5/2
S3	-	1.0/2	25.8/1
S4	-	-	40.5/2
S5	40.2/2	-	27.0/1
S6	-	-	45.0/1
S7	-	-	43.0/1
S8	-	-	53.0/2
S9	5.0/1	-	20.0/1
합계	45.0/3	1.0/2	383.3/13

〈표 3.2〉 교면포장 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
아스콘균열(m/개소)	45.0/3	45.0/3
아스콘패임(m ² /개소)	74.44/8	1.0/2
토사퇴적(m ² /개소)	383.3/13	383.3/13



〈그림 3.1〉 교면포장 전차 물량 비교



〈사진 3.3〉 교면포장 외관조사결과

			
현황	S4 토사퇴적	현황	S1 재포장
대책	청소	대책	-

〈사진 3.3〉 교면포장 외관조사결과(계속)

나. 난간 및 연석

난간은 콘크리트 방호벽으로 교량 좌·우측에 시공되어 있으며, 중앙에는 가드레일로서 중앙분리대가 설치되어 있는 상태이다.

	
내측 전경	외측 전경

〈사진 3.4〉 난간 전경

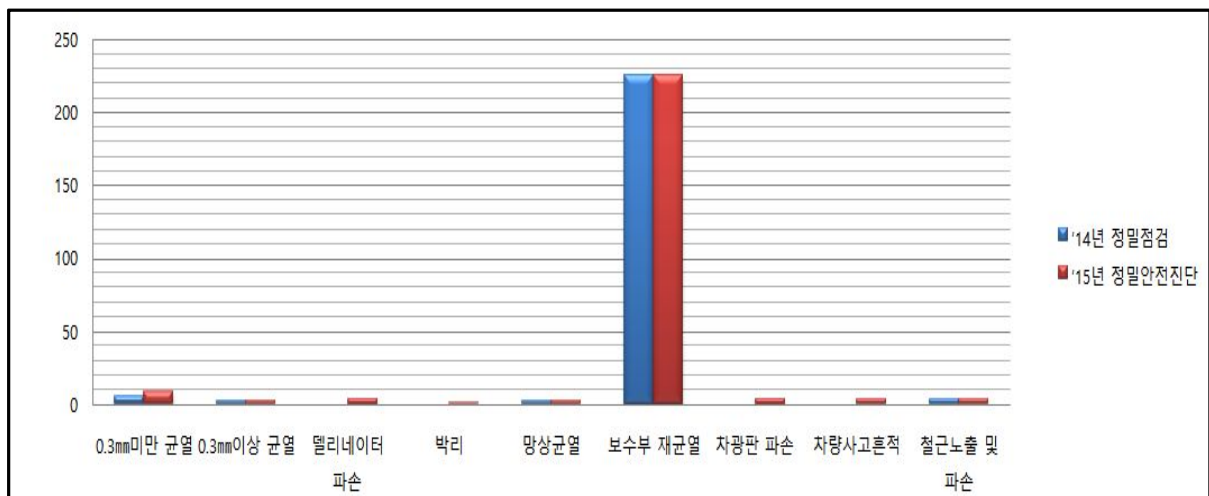
외관조사결과 방호벽 균열 및 재균열, 망상균열, 철근노출 및 파손, 텔리네이트 파손 등이 조사되었고, 발생한 균열은 전차에 비해 신규손상이 일부 발생하였다. 균열 구간은 건조 수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열이며 0.3mm이상 균열은 주입보수 등의 조치가 필요하며, 0.3mm미만 균열 구간은 그 정도가 경미한 미세균열이므로, 즉각적인 보수조치 보다는 향후 손상의 진전 정도에 따라 일괄적인 표면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되다. 텔리네이트, 차광판 파손은 외부 충격 등에 의한 것으로 사용성 확보를 위하여 교체 등의 조치가 필요하다. 기존 손상인 철근노출 및 파손 구간은 피복두께 부족, 외부 충격으로 인하여 발생한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하다.

〈표 3.3〉 방호벽 물량표

구분	0.3mm미만 균열 (m/개소)	0.3mm이상 균열 (m/개소)	텔리 네이트 파손 (개소)	박리 (㎡/개소)	망상 균열 (㎡/개소)	보수부 재균열 (m/개소)	차광판 파손 (개소)	차량 사고 흔적 (㎡/개소)	철근 노출 및 파손 (㎡/개소)
S1	1.0/1	-	-	-	-	27.8/25	-	-	-
S2	1.0/1	-	-	-	-	27.3/25	4	-	-
S3	3.2/3	-	-	-	-	28.8/26	-	-	-
S4	1.0/1	0.4/1	-	-	-	17.8/17	-	-	0.4/20
S5	1.0/1	1.0/1	1	-	-	25.6/24	-	0.3/1	0.8/40
S6	1.2/1	-	1	-	-	29.3/27	-	-	0.32/16
S7	-	-	1	-	2.5/1	23.6/22	-	-	0.2/10
S8	-	-		-	-	24.0/24	-	3/1	1.58/42
S9	-	1.0/1	1	0.8/1	-	21.4/22	-	-	-
합계	8.4/8	2.4/3	4	0.8/1	2.5/1	225.6/212	4	3.3/2	3.3/128

<표 3.4> 방호벽 전차 물량 비교

손상명	'14년 정밀점검	'15년 정밀안전진단
0.3mm미만 균열 (m/개소)	5.4/5	8.4/8
0.3mm이상 균열 (m/개소)	2.4/3	2.4/3
텔리네이터 파손(개소)	-	4
박리 (㎡/개소)	-	0.8/1
망상균열 (㎡/개소)	2.5/1	2.5/1
보수부 재균열 (m/개소)	226.2/213	225.6/212
차광판 파손 (개소)	-	4
차량사고흔적 (㎡/개소)	-	3.3/2
철근노출 및 파손 (㎡/개소)	3.3/128	3.3/128



<그림 3.2> 방호벽 전차 물량 비교

			
현황	S2 중분대 차광판 파손	현황	S2 중분대 박락 및 철근노출
대책	교체	대책	단면보수
			
현황	S1 재균열	현황	S5 텔리네이터 파손
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	교체
			
현황	S9 박리	현황	S7 망상균열
대책	단면보수	대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)

〈사진 3.5〉 난간 및 연석 외관조사결과

다. 배수시설

배수시설은 38개소가 설치되어 있으며, 상부 집수구는 이물질 침투 방지를 위해 그레이팅이 설치되어 있다. 하부 배수관은 육교형, 산악형으로 시공되어 있는 상태이다.



〈사진 3.6〉 배수시설 전경

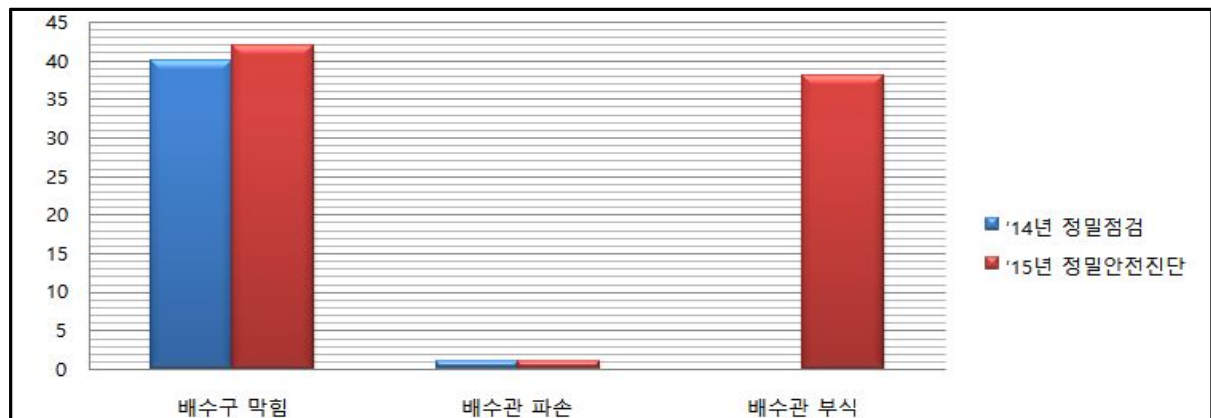
외관조사결과 배수구 막힘과 배수관 파손, 배수관 부식(전개소)이 조사되었으며, 배수구 막힘은 공용 중 반복적인 통행 차량에 의한 토사퇴적으로 이는 우천시 체수를 유발하여 차량 주행성 및 사용성에 문제가 될 수 있으므로 주기적인 배수구 청소가 필요한 상태이고, 배수관 파손 및 부식은 공용기간 증가로 인하여 발생한 손상으로 상부슬래브와 배수관을 이어주는 접속부 및 배수관 접속부 전개소가 부식이 된 상태이다. 배수관 파손 및 부식은 구조적 손상은 아니나, 현재 부식의 상태가 심하고 부식의 추가 손상 우려가 존재하므로 교체 등의 조치를 권장한다.

〈표 3.5〉 배수시설 물량표

구분	배수구 막힘(개소)	배수관 파손(개소)	배수관 부식(개소)
S1	5	1	6
S2	4	-	4
S3	8	-	4
S4	4	-	4
S5	4	-	4
S6	4	-	4
S7	3	-	4
S8	4	-	4
S9	6	-	4
합계	42	1	38

〈표 3.6〉 배수시설 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
배수구 막힘(개소)	40	42
배수관 막힘(개소)	-	1
배수관 파손(개소)	1	1
배수관 부식(개소)	-	38



〈그림 3.3〉 배수시설 전차 물량 비교

			
현황	S4 배수관 부식	현황	S1 배수관 파손
대책	교체	대책	교체
			
현황	S2 배수구 막힘	현황	S2 배수구 막힘
대책	청소	대책	청소

〈사진 3.7〉 배수시설 외관조사결과

라. 신축이음장치

(1) 외관조사 결과

목주교의 신축이음은 A1(NO.240), A2(NO.160) 2개소 Rail Joint 형식으로 설치되어 있다.



〈사진 3.8〉 신축이음 전경

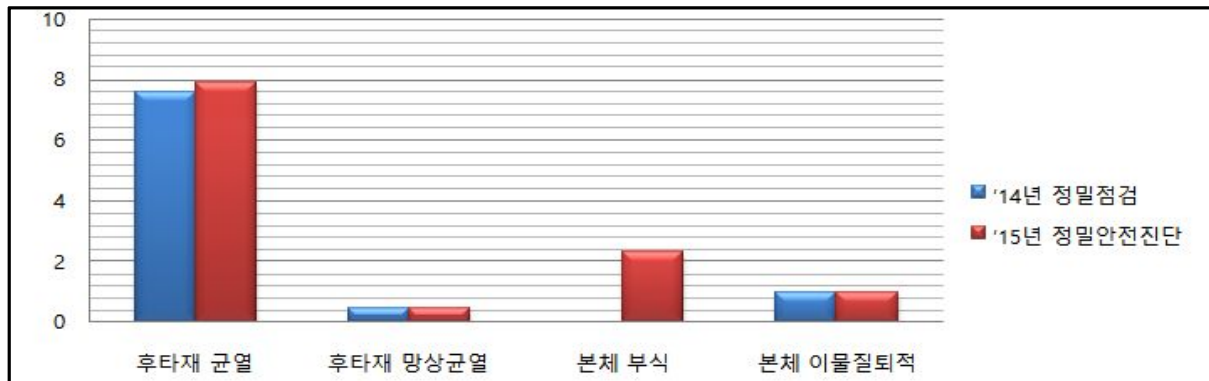
외관조사결과 후타재 균열, 망상균열, 본체 토사퇴적, 본체 부식 등이 발생한 상태로 조사되었다. 후타재 균열, 망상균열은 건조수축에 의한 시공초기 균열로서 그 정도가 경미한 상태이므로 현 상태에서의 보수조치 보다는 지속적 관찰을 실시한 후, 손상 진전시 표면처리 등의 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 토사 퇴적 및 부식 구간은 장기공용에 인한 손상으로 청소 및 지속적인 관찰이 필요하다.

〈표 3.7〉 신축이음 물량표

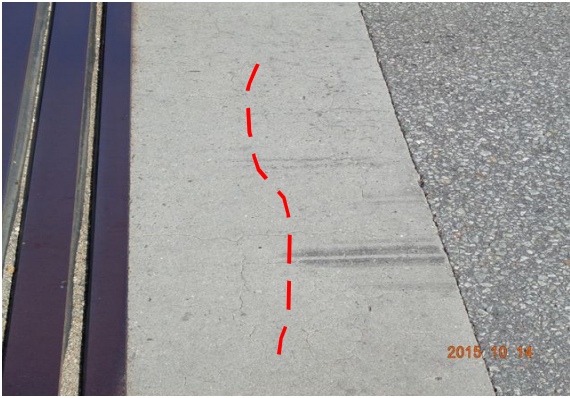
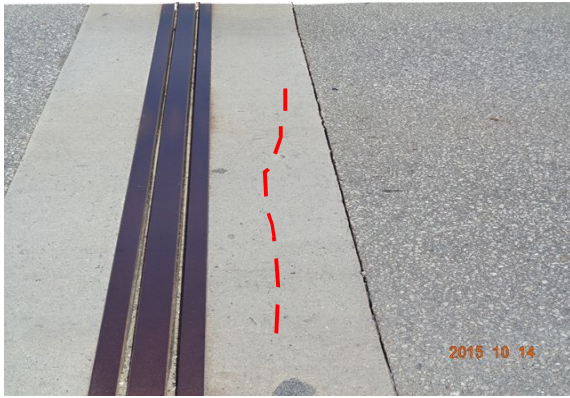
구분	후타재 균열 (m/개소)	후타재 망상균열 (㎡/개소)	본체 부식 (㎡/개소)	본체 토사퇴적 (m/개소)
A1	7.6/14	-	2.0/1	0.8/2
A2	0.3/1	0.48/2	0.3/1	0.2/2
합계	7.9/15	0.48/2	2.3/2	1.0/4

〈표 3.8〉 신축이음 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
후타재 균열 (m/개소)	7.6/14	7.9/15
후타재 망상균열(m ² /개소)	0.48/2	0.48/2
본체 부식(m ² /개소)	-	2.3/2
본체 토사퇴적(m/개소)	1.0/4	1.0/4



〈그림 3.4〉 신축이음 전차 물량 비교

			
현황	A1 본체 이물질퇴적	현황	A2 본체 이물질퇴적
대책	청소	대책	청소
			
현황	A1 후타재 균열	현황	A2 후타재 균열
대책	주의관찰 후 조치	대책	주의관찰 후 조치(체결)

〈사진 3.9〉 신축이음 외관조사결과

(2) 신축 유간 분석

상부구조는 고정단을 중심으로 온도변화에 따라 동절기와 하절기시 교축방향으로 수축과 신장을 하게 된다. 신축량이라 함은 보의 가동단에서 움직임을 나타내는 용어로서, 측정 당시를 기준으로 해서 보의 온도변화(+)에 의한 신축량($\Delta l + t$)과 온도변화(-)에 의한 수축량($\Delta l - t$)이다.

슬래브 및 거더 단부의 유간이 부족할 경우 단부 파손 및 기타 손상이 발생할 수 있으므로 슬래브 및 거더의 유간 거리를 측정하여 계산치와 비교검토 함으로서 각 유간의 적정성을 판단한다.

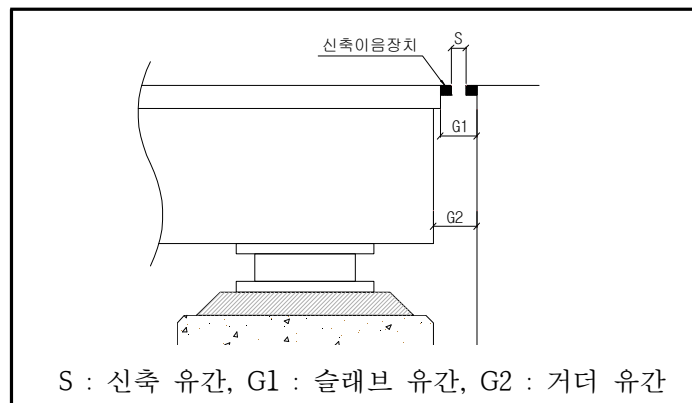
① 조사 방법

◎ 이론 신축량 계산 $\Delta l = \Delta T \times \alpha \times L$

여기서, ΔT : 온도변화량

α : 선팽창계수

L : 신축거더 길이



<그림 3.5> 유간거리 측정방법



<사진 3.10> 신축 유간 조사현황

〈표 3.9〉 지역별 온도변화 범위

교량 종류	온도변화		선팅창계수
	보통지방	한랭한 지방	
콘크리트교	-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강 교	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
- 2015년 10월 14일 11시, 측정시 온도 : 19℃			

② 이론 신축량 산정

ㄱ. 신장량 ($\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$)

- 적용 온도 : +40℃ 적용 (강교)
- $\Delta T_s = 40^\circ\text{C} - 19^\circ\text{C} = 21^\circ\text{C}$
- $\alpha_s = 1.2 \times 10^{-5}$ (강교)
- 신축들보의 길이 (L)

- A1 : 3@40m+2@50m = 220.0m (A1~P5)
- A2 : 50+3@40m = 170.0m (P5~A2)

- 계산 신장량

- A1 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 21 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 220,000 = 55.44\text{mm}$
- A2 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 21 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 170,000 = 42.84\text{mm}$

ㄴ. 수축량 ($\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$)

- 적용 온도 : -10℃ 적용 (강교)
- $\Delta T_s = 19^\circ\text{C} - (-10.0^\circ\text{C}) = 29^\circ\text{C}$
- $\alpha_s = 1.2 \times 10^{-5}$ (강교)
- 신축들보의 길이(L) $\Rightarrow$ 위와 동일
- 계산 수축량

- A1 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 29 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 220,000 = 76.56\text{mm}$
- A2 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 29 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 170,000 = 59.16\text{mm}$

③ 유간 측정결과

〈표 3.10〉 유간 측정결과

위 치	측정 결과 (mm)			이론 계산량 (mm)		허용 이동량 (mm)	평가
	S	G1	G2	최대 신장시	최대 수축시		
A1	115	140	265	55.44	76.56	240	O.K
A2	55	170	75	42.84	59.16	160	O.K
- 2015년 10월 14일 11시, 측정시 온도 : 19℃							

※ 유간 S=신축이음, G1=바닥판, G2=거더

◎ 측정 유간 > 최대 신장시 이론 계산량 ⇒ 양호

◎ 측정 유간(신축이음=S) + 최대 수축시 이론 계산량 < 허용 이동량 ⇒ 양호

유간(신축이음, 슬래브, 거더) 측정결과를 토대로 온도변화에 따른 유간 변화량 검토결과, 하절기 최대 신장시 유간 여유량이 충분한 상태였으며, 동절기 최대 수축시 역시 허용 이동량 범위 내로 유간에 따른 교량의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

마. 바닥판

바닥판 하면은 9경간으로써 하부에 도로가 지나가는 S3, S4, S9는 Deck Plate가 설치되어 있으며, 그 외 바닥판은 콘크리트로 시공되어 있었다.



<사진 3.11> 바닥판하면 전경

외관조사결과, 균열 및 망상균열, 백태, 박락, 철근노출 등이 발생한 상태로 조사되었다.

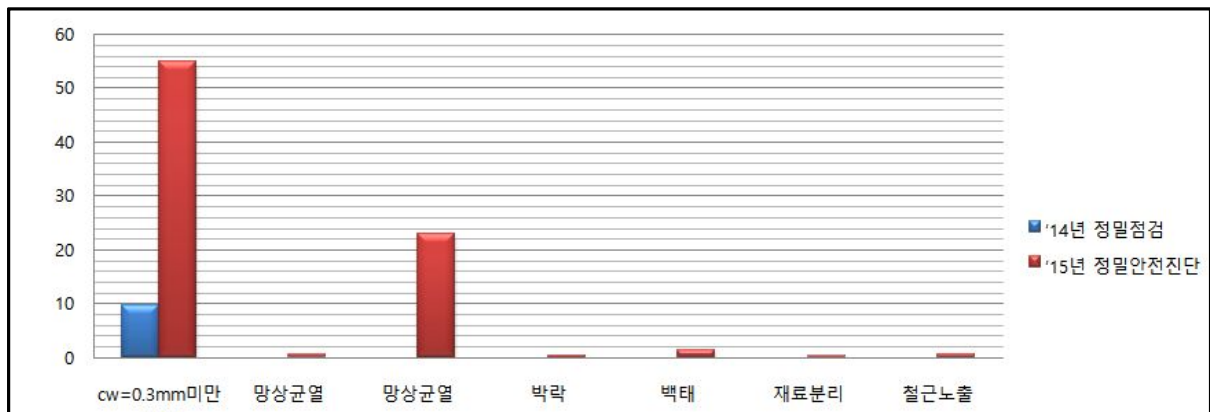
균열 및 망상균열은 기존 점점시 누락된 손상으로 판단되며, 기손상부는 시공초기 건조 수축에 의해 발생한 균열로 지속적인 관찰 후 진전시 주입보수, 표면처리 등의 조치가 필요하다. 콘크리트 박락, 철근노출, 재료분리 구간은 시공불량 및 외부 충격에 의한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하며, 콘크리트 백태 구간은 손상이 경미하므로 지속적인 관찰 후 진전시 표면처리 등의 조치가 요구된다.

<표 3.11> 바닥판하면 물량표

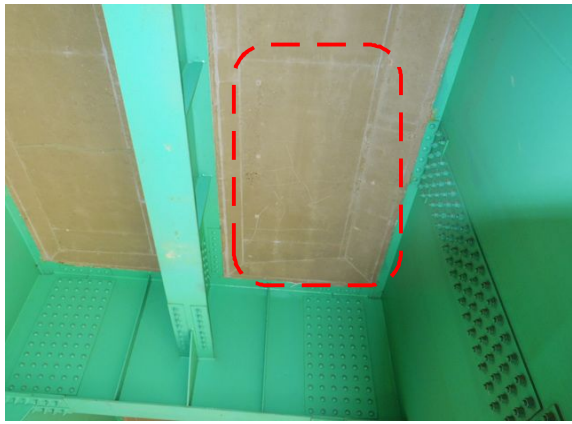
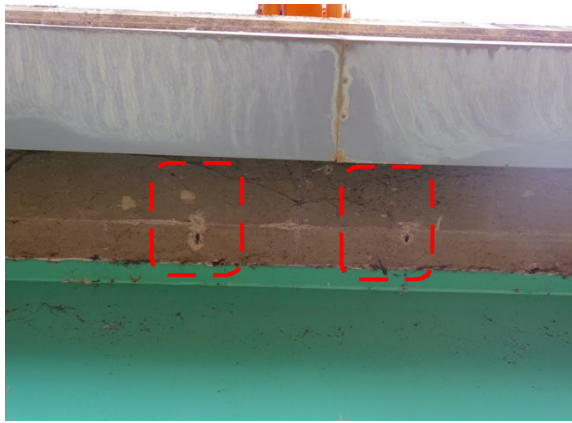
구분	cw=0.3mm 미만 균열 (m/개소)	cw=0.3mm 이상 균열 (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	박락 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	재료분리 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)
S1	4.8/4	-	-	-	-	-	0.4/2
S2	10.4/8	-	2.0/1	-	-	-	-
S3	1.5/3	-	21.0/2	-	-	-	-
S4	1.0/2	-	-	-	-	-	-
S5	16.7/12	0.5/1	-	-	1.0/1	-	-
S6	3.6/3	-	-	-	-	0.18/1	0.3/1
S7	13.0/9	-	-	-	0.3/5	0.18/2	-
S8	2.4/2	-	-	0.16/4	0.16/1	-	-
S9	1.5/3	-	-	0.25/1	-	-	-
합계	54.9/46	0.5/1	23.0/3	0.41/5	1.46/7	0.38/3	0.7/3

〈표 3.12〉 바닥판하면 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
cw=0.3mm미만 균열(m/개소)	9.6/8	54.9/46
cw=0.3mm이상 균열(m/개소)	-	0.5/1
망상균열(m ² /개소)	-	23.0/3
박락(m ² /개소)	-	0.41/5
백태(m ² /개소)	-	1.46/7
재료분리(m ² /개소)	-	0.38/3
철근노출(m ² /개소)	-	0.7/3



〈그림 3.6〉 바닥판하면 전차 물량 비교

			
현황	S2 균열	현황	S2 망상균열
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)
			
현황	S3 균열	현황	S6 재료분리
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(단면보수)
			
현황	S7 백태	현황	S1 철근노출
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(단면보수)

〈사진 3.12〉 바닥판 외관조사결과

바. 거더 및 가로보

목주교의 거더는 4련의 Steel Box형식으로 시공되어 있으며, 가로보의 경우 경간당 8~10행이 시공되어 있다.



〈사진 3.13〉 거더 및 가로보 전경

거더 및 가로보 거더외부에 도장긁힘, 도장탈락, 점부식이 조사되었으며, 거더내부 이물질퇴적, 도장불량, 우수유입흔적, 부식이 조사되었다. 가로보는 손상이 없는 양호한 상태이다.

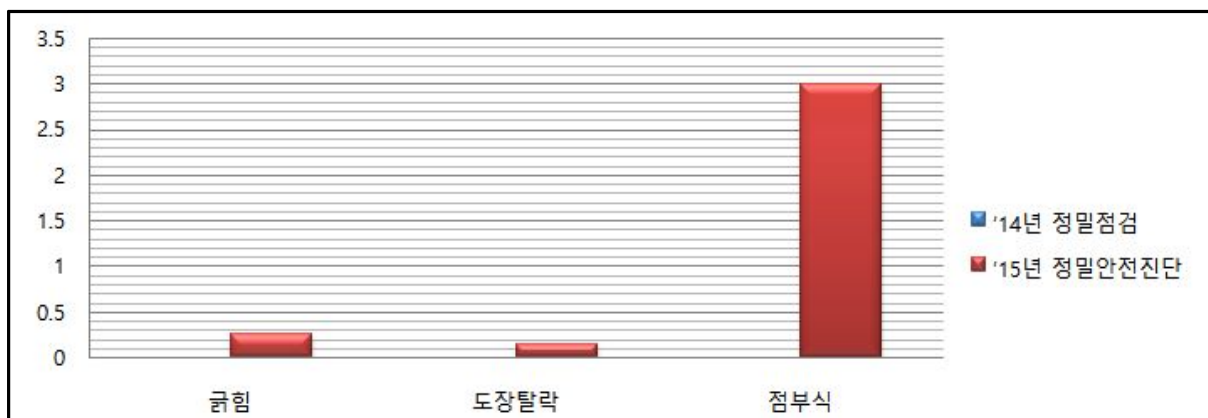
기 발생한 도장손상(도장긁힘, 도장부식, 도장탈락)은 시공미흡 및 외부충격에 의한 손상으로 지속적인 관찰 후 진전시 재도장이 필요하며, 거더내부에 발생한 우수유입 흔적 구간은 스플라이스부를 통한 우수유입으로 판단되며, 이물질퇴적은 외부인 출입에 의한 손상으로 우수유입 및 이물질퇴적은 청소, 시건장치 체결을 통한 유지관리가 요망된다.

〈표 3.13〉 거더외부 물량표

구분		굽힘 (㎡/개소)	도장탈락 (㎡/개소)	점부식 (㎡/개소)
거더 외부	S1	-	-	-
	S2	0.25/3	-	-
	S3	-	-	-
	S4	-	-	-
	S5	-	-	-
	S6	-	-	3.0/1
	S7	-	0.14/14	-
	S8	-	-	-
	S9	-	-	-
합 계		0.25/3	0.14/14	3.0/1

〈표 3.14〉 거더외부 전차 물량 비교

손상명		‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
거더 외부	굽힘 (㎡/개소)	-	0.25/3
	도장탈락 (㎡/개소)	-	0.14/14
	점부식(㎡/개소)	-	3.0/1



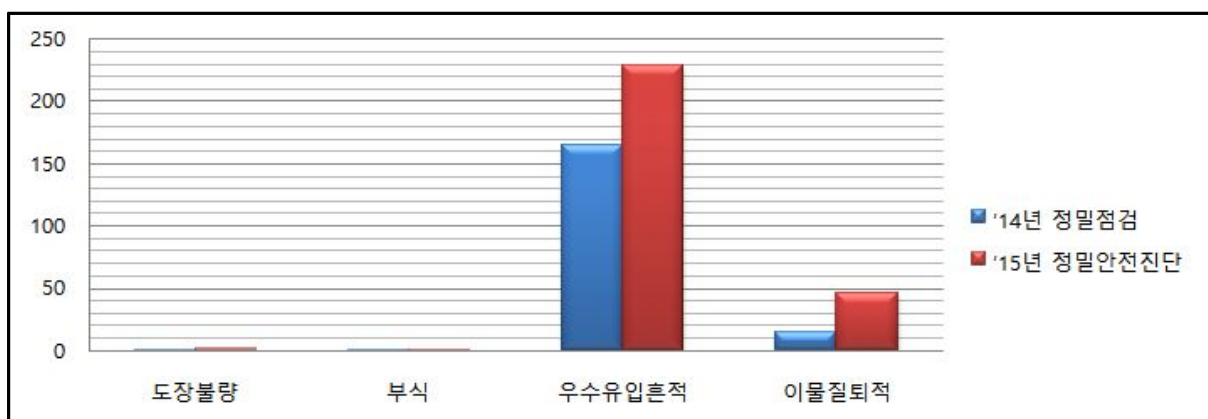
〈그림 3.7〉 거더외부 전차 물량 비교

〈표 3.15〉 거더내부 물량표

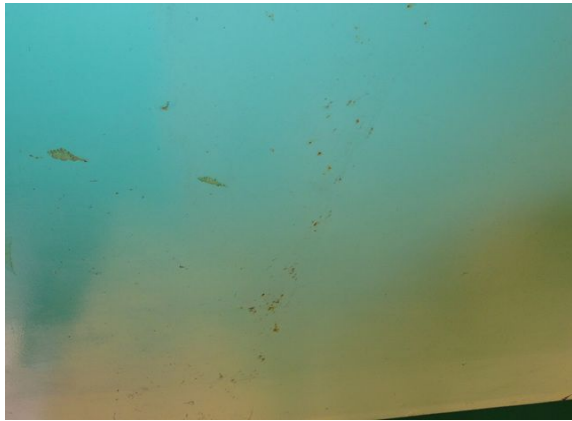
구분		도장불량, 탈락 (㎡/개소)	부식 (㎡/개소)	우수유입흔적 (㎡/개소)	이물질퇴적 (㎡/개소)
거더 내부	S1	-	0.12/1	1.19/19	44.75/4
	S2	0.25/1	-	1.88/32	-
	S3	-	-	1.52/26	-
	S4	0.32/10	-	1.32/24	-
	S5	-	-	0.82/20	-
	S6	-	-	1.08/26	-
	S7	-	-	1.32/32	-
	S8	0.4/4	-	1.36/32	-
	S9	0.24/6	-	0.88/18	1.0/1
합 계		1.21/21	0.12/1	11.37/229	45.75/5

〈표 3.16〉 거더내부 전차 물량 비교

손상명		‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
거더 내부	도장불량 (㎡/개소)	0.85/21	1.21/21
	부식 (㎡/개소)	0.12/1	0.12/1
	우수유입흔적 (개소)	164	229
	이물질퇴적 (㎡/개소)	14.75/4	45.75/5



〈그림 3.8〉 거더내부 전차 물량 비교

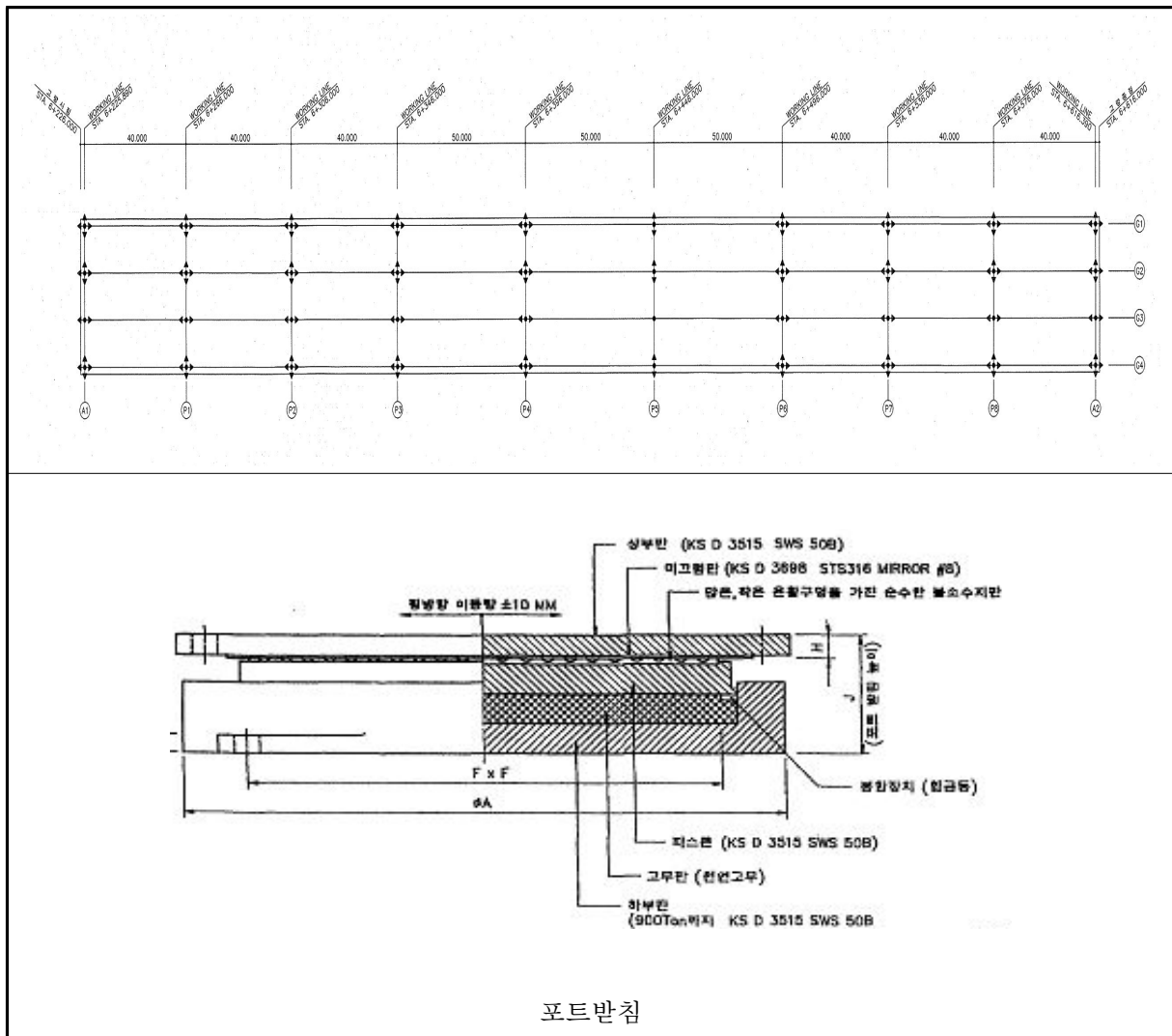
			
현황	G1-S2 도장 긁힘	현황	G3-S5 도장 탈락
대책	주의관찰 후 조치(재도장)	대책	주의관찰 후 조치(재도장)
			
현황	G4-S7 도장 긁힘	현황	G2-S1 이물질제거
대책	주의관찰 후 조치(재도장)	대책	청소
			
현황	G4-S1 우수유입흔적	현황	G3-S2 도장 불량
대책	청소	대책	주의관찰 후 조치(재도장)

<사진 3.14> 거더 및 가로보 외관조사결과

사. 받침장치

(1) 외관조사 결과

받침장치는 포트받침으로 각각 4개소씩 총 40개소에 시공되어 있으며, 고정 지점부는 P5로 세부배치현황은 다음과 같다.



〈그림 3.9〉 교량받침 상세도

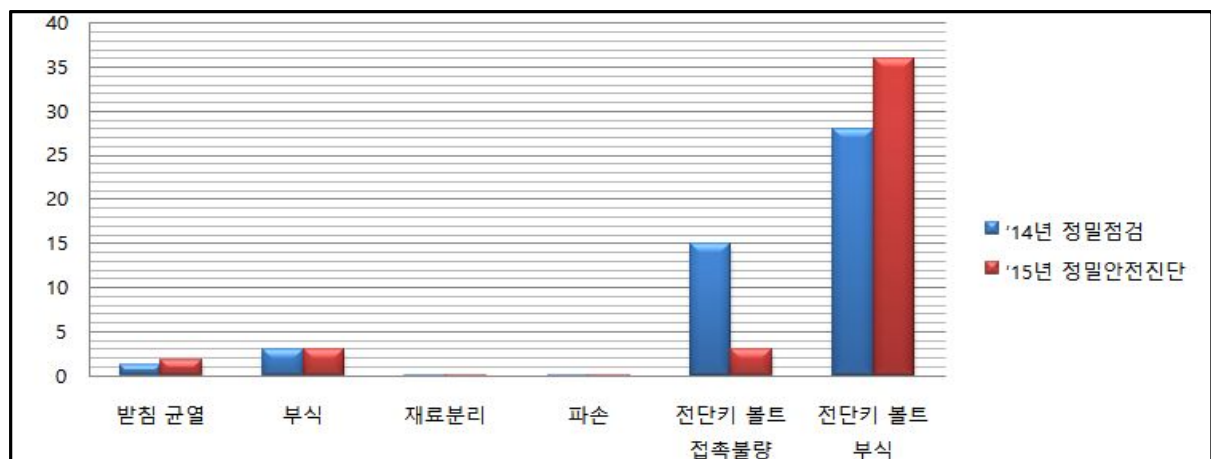
외관조사결과 본체 파손, 편기, 신축기능 불량 등 구조적 손상은 조사되지 않았으나, 국부적인 받침장치 부식, 받침콘크리트 및 무수축물탈 균열, 재료분리, 콘크리트 파손, 전단키 접촉불량 등이 조사되었다. 기 손상부는 공용기간 증가 및 건조수축에 의한 손상으로 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리, 채도장 등의 조치가 요망되며, 전단키 접촉불량은 전차 점검에 비해 수량이 다소 줄었으나, 접촉흔적은 유지하고 있는 바, 손상이 남아 있는 것으로 사료되며, 지속적인 관찰이 필요하다.

〈표 3.17〉 받침장치 물량표

구분	cw=0.3mm미만 받침 균열 (m/개소)	부식 (개소)	재료분리 (㎡/개소)	파손 (㎡/개소)	전단키 볼트 접촉불량 (개소)	전단키 볼트 부식 (㎡/개소)
A1	0.6/3	-	-	0.01/1	-	-
A2	0.2/1	2	-	-	-	-
P1	-	-	0.02/1	-	-	-
P2	-	1	-	-	-	-
P3	-	-	-	-	-	-
P4	-	-	-	-	-	-
P5	0.4/2	-	-	-	-	28
P6	-	-	-	-	-	8
P7	0.4/2	-	-	-	3	-
P8	0.2/1	-	-	-	-	-
합계	1.8/9	3	0.02/1	0.01/1	3	36

〈표 3.18〉 받침장치 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
cw=0.3mm미만 받침균열(m/개소)	1.2/5	1.8/9
부식 (개소)	3	3
재료분리(㎡/개소)	0.02/1	0.02/1
파손(㎡/개소)	0.01/1	0.01/1
전단키 볼트 접촉불량(개소)	15	3
전단키 볼트 부식(㎡/개소)	28	36



〈그림 3.10〉 받침장치 전차 물량 비교

			
현황	A1-SH1 받침콘크리트 파손	현황	P1-SH4 재료분리
대책	지속적 관찰 후 조치(단면보수)	대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)
			
현황	P3 전단키 볼트 접촉	현황	P6 전단키 볼트 접촉
대책	지속적 관찰	대책	지속적 관찰
			
현황	P7-SH4 받침콘크리트 균열	현황	P8-SH1 받침콘크리트 균열
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)

<사진 3.15> 받침장치 외관조사결과

(2) 받침장치 가동 여유량 검토

설계시 받침의 이동량은 온도변화, 활하중, 크리프, 건조수축, 부가여유량 및 설치 여유량 등을 고려하여 산정하나, 금회 조사에서는 교량의 공용년수가 11년 경과되었으므로 크리프 및 건조수축 의한 변화는 거의 종결된 것으로 간주하여 온도변화에 의한 이동량을 검토하였다.

받침장치 가동여유량에 대한 검토는 『도로교설계기준, 2010』에 따라 측정일 온도에서 설계검토 최저, 최고온도까지 수축 및 신장거동에 대한 받침장치의 부가여유량을 검토하였다.

〈표 3.19〉 받침장치의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창 계수

교량의 종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭 지방	
PSC교, RC교	-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
강교 (하로교 및 강바닥판교)	-10℃ ~ +50℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

- 조사시 온도 : 2015년 10월 14일 가동량 측정시 외기온도 $\Rightarrow 22.0^{\circ}\text{C}$

- 검토 온도 : $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ (강교일 경우)

◎ 받침장치 여유량 산정

- 온도에 의한 이동량 : $\Delta l_t = \alpha \times \Delta T \times \ell$

- 선팽창계수(강교) : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$

- 온도범위 : $\Delta T = 22.0^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C}) = 32.0^{\circ}\text{C}$ (최대 수축시, 동절기)

$40.0^{\circ}\text{C} - 22.0^{\circ}\text{C} = 18.0^{\circ}\text{C}$ (최대 신장시, 하절기)

- 적용 경간 길이 (l) = 220.0m(A1), 180.0m(P1), 140.0m(P2), 100.0m(P3)

50.0m(P4,P6), 90.0m(P7), 130.0m(P8), 170.0m(A2)

〈표 3.20〉 받침장치 여유량 조사 결과

위 치	구 분	설계 이동량 (mm)	실측 이동량 (mm)	여유량(mm)		온도변화에 의한 이동량		판 정
				신장	수축	신장	수축	
A1	SH1	± 100	+15	85	115	47.5	84.4	O.K
	SH2		+10	90	110	47.5	84.4	O.K
	SH3		+10	90	110	47.5	84.4	O.K
	SH4		+10	90	110	47.5	84.4	O.K
P1	SH1	± 100	+40	60	140	38.8	71.2	O.K
	SH2		+50	50	150	38.8	71.2	O.K
	SH3		+50	50	150	38.8	71.2	O.K
	SH4		+50	50	150	38.8	71.2	O.K
P2	SH1	± 100	+30	70	130	30.2	55.4	O.K
	SH2		+30	70	130	30.2	55.4	O.K
	SH3		+30	70	130	30.2	55.4	O.K
	SH4		+30	70	130	30.2	55.4	O.K
P3	SH1	± 100	+40	60	140	21.6	39.6	O.K
	SH2		+40	60	140	21.6	39.6	O.K
	SH3		+40	60	140	21.6	39.6	O.K
	SH4		+20	80	120	57.6	75.6	O.K
P4	SH1	± 100	+40	60	140	10.8	19.8	O.K
	SH2		+40	60	140	10.8	19.8	O.K
	SH3		+40	60	140	10.8	19.8	O.K
	SH4		+40	60	140	10.8	19.8	O.K

※ 실측 이동량은 고정단(P2)을 기준으로 신장시(+), 수축시(-)로 명기.

〈표 3.20〉 받침장치 여유량 조사 결과(계속)

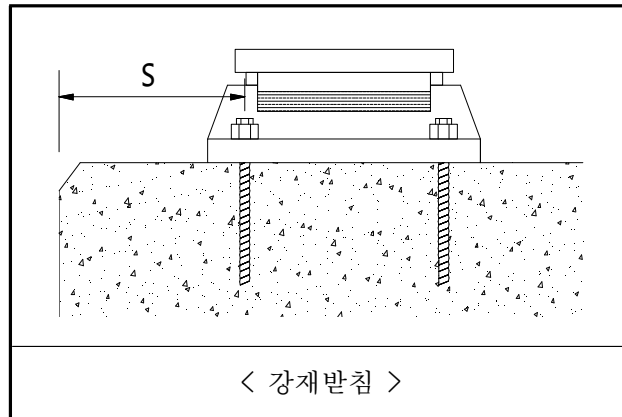
위 치	구 분	설계 이동량 (mm)	실측 이동량 (mm)	여유량(mm)		온도변화에 의한 이동량		판 정
				신장	수축	신장	수축	
P5	SH1	-	-	-	-	-	-	-
	SH2		-	-	-	-	-	-
	SH3		-	-	-	-	-	-
	SH4		-	-	-	-	-	-
P6	SH1	± 100	+50	50	150	10.8	19.8	O.K
	SH2		+50	50	150	10.8	19.8	O.K
	SH3		+50	50	150	10.8	19.8	O.K
	SH4		+50	50	150	10.8	19.8	O.K
P7	SH1	± 100	+55	45	155	19.4	35.6	O.K
	SH2		+55	45	155	19.4	35.6	O.K
	SH3		+55	45	155	19.4	35.6	O.K
	SH4		+55	45	155	19.4	35.6	O.K
P8	SH1	± 100	+60	40	160	28.0	51.4	O.K
	SH2		+60	40	160	28.0	51.4	O.K
	SH3		+60	40	160	28.0	51.4	O.K
	SH4		+60	40	160	28.0	51.4	O.K
A2	SH1	± 100	+60	40	160	36.7	67.3	O.K
	SH2		+60	40	160	36.7	67.3	O.K
	SH3		+60	40	160	36.7	67.3	O.K
	SH4		+60	40	160	36.7	67.3	O.K

※ 실측 이동량은 고정단(P5)을 기준으로 신장시(+), 수축시(-)로 명기.

받침장치의 이동량 검토결과, 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

(2) 연단거리 분석

① 측정 방법



<그림 3.11> 받침별 연단거리 측정방법



<사진 3.16> 연단 측정 현황

② 각 경간별 최소 연단거리 산정

- 거더의 경간 길이 100m 이하 : $S = 20 + 0.5 L$
- 거더의 경간 길이 100m 이상 : $S = 30 + 0.4 L$

경간 길이에 따른 최소 연단거리 산정

- S1~S3, S7~S9 : $20 + (0.5 \times 40.0) = 40.0\text{cm}$
- S4~S6 : $20 + (0.5 \times 50.0) = 45.0\text{cm}$

③ 연단거리 측정 및 검토결과

〈표 3.21〉 연단거리 검토결과

구 분			측정결과(mm)				연단 기준 (mm)	평가
			Br1	Br2	Br3	Br4		
A1	포트	종점	700	700	700	600	400	O.K
P1	포트	시점	800	800	800	800	400	O.K
		종점	800	800	800	800	400	O.K
P2	포트	시점	800	800	800	800	400	O.K
		종점	800	800	800	800	400	O.K
P3	포트	시점	800	800	800	800	400	O.K
		종점	800	800	800	800	450	O.K
P4	포트	시점	800	800	800	800	450	O.K
		종점	800	800	800	800	450	O.K
P5	포트	시점	800	800	800	800	450	O.K
		종점	800	800	800	800	450	O.K
P6	포트	시점	800	800	800	800	450	O.K
		종점	800	800	800	800	400	O.K
P7	포트	시점	770	770	770	770	400	O.K
		종점	800	800	800	800	400	O.K
P8	포트	시점	800	800	800	800	400	O.K
		종점	800	800	800	800	400	O.K
A2	포트	시점	700	700	600	600	400	O.K

연단거리 분석결과, 전 구간 모두 실측 연단거리가 도로교 설계기준 최소 연단거리 이상으로 측정되어, 연단거리에 따른 구조물의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

아. 교대 및 교각

하부구조 형식으로 교대는 역T형 구조로 2기가 시공되어 있으며, A1 전면은 범면보호를 위한 보호블럭이 시공되어 있다.

교각은 II형으로 16기가 시공되었으며, P5(고정단)를 제외한 모든 교각에 점검로가 설치되어 있다.



〈사진 3.17〉 교대 및 교각 전경

교대 및 교각은 균열 및 망상균열, 재균열, 콘크리트 파손, 철근노출, 백태 등이 발생한 상태로, 균열 및 망상균열 구간은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 주의관찰이 요망되나, 폭 0.3mm이상의 균열은 주입보수 등의 조치가 필요하다. 교각 P3 우측 코핑 하면에 발생한 교축직각방향의 폭 0.2mm균열은 휨균열로 판단되며, 주의관찰 후 손상의 진전시 주입보수 등의 조치가 요망된다.

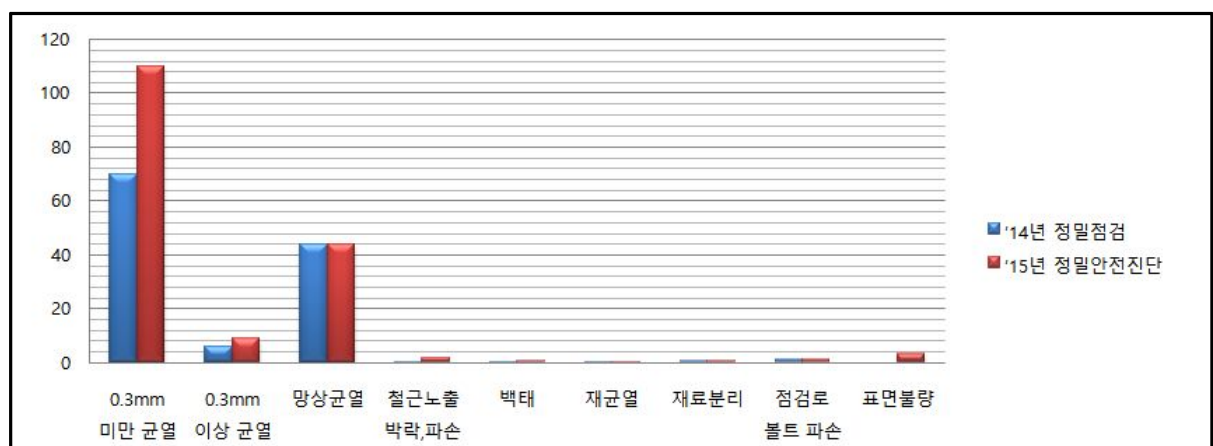
기존 손상인 철근노출, 백태, 재료분리 등의 손상은 주기적인 관찰이 필요하며, 손상부 규모가 미미하므로 현 상태에서의 보수조치 보다는 향후 손상의 진전시 단면보수, 표면처리 등의 조치가 요구된다.

〈표 3.22〉 교대 및 교각 물량표

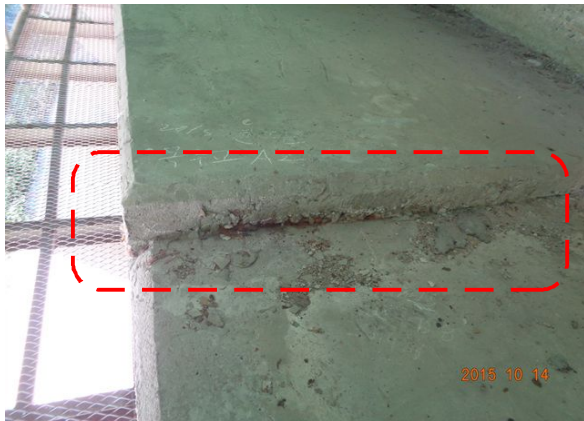
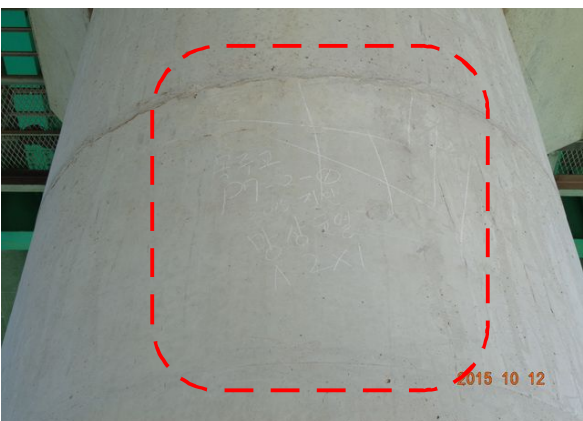
구분	0.3mm 미만 균열 (m/개소)	0.3mm 이상 균열 (m/개소)	망상 균열 (㎡/개소)	철근노출 박락, 파손 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	재균열 (m/개소)	재료 분리 (㎡/개소)	점검로 볼트파손 (개소)	표면 불량 (㎡/개소)
A1									
A2	30.1/12			0.08/1					
P1	4.8/7		4.75/3						
P2	7.5/12		18.0/5	0.09/1				0.08/1	
P3	8.7/5	5.4/3	18.0/6			0.2/1			
P4	27.0/17		3.0/2	1.12/2	0.48/3				
P5	1.5/1	4.0/2							3.0/1
P6	11.7/6	3.0/1		0.17/2					
P7	12.2/15		17.53/6						
P8	6.3/8						0.5/1		
합계	109.8/83	12.4/6	43.75/22	1.54/6	0.48/3	0.2/1	0.5/1	0.08/1	3.0/1

〈표 3.23〉 교대 및 교각 전차 물량 비교

손상명	‘14년 정밀점검	‘15년 정밀안전진단
0.3mm 미만 균열(m/개소)	70.1/70	109.8/83
0.3mm 이상 균열(m/개소)	6.0/2	12.4/6
망상균열(㎡/개소)	43.75/22	43.75/22
철근노출 박락, 파손(㎡/개소)	0.26/4	1.54/6
백태(㎡/개소)	0.16/1	0.48/3
재균열(m/개소)	0.2/1	0.2/1
재료분리(㎡/개소)	0.5/1	0.5/1
점검로 볼트 파손(개소)	1	1
표면불량(㎡/개소)	-	3.0/1



〈그림 3.12〉 교대 및 교각 전차 물량 비교

			
현황	A2 cw=0.3mm미만 균열	현황	A2 철근노출
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(단면보수)
			
현황	P3 코핑부 0.3mm 이상 균열	현황	P6 기둥부 박락
대책	주입보수	대책	지속적 관찰 후 조치(단면보수)
			
현황	P7 기둥부 망상균열	현황	P8 코핑부 재료분리
대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)	대책	지속적 관찰 후 조치(표면처리)

<사진 3.18> 교대 및 교각 외관조사결과

자. 전차 점검결과와 비교

육안조사결과, 본 과업대상 교량에 대한 전차 정밀점검(2014) 결과와 금회 정밀안전진단 (2015) 결과를 비교 검토한 내용은 다음과 같다.

〈표 3.24〉 전차 점검결과와 비교

구 분		단위	‘14년 점검	‘15년 진단	증감	비고
			수량/개소	수량/개소		
교면포장	아스콘균열	m	45.0/3	45.0/3	- -	증감없음
	아스콘 함몰, 패임	m ²	74.44/8	1.0/2	▼ -73.44/-6	보수실시
	토사퇴적	m ²	383.3/13	383.3/13	- -	증감없음
난간/ 연석	0.3mm미만 균열	m	5.4/5	8.4/8	▲ 3.0/3	신규손상
	0.3mm이상 균열	m	2.4/3	2.4/3	- -	증감없음
	텔리네이터 파손	ea	-	4	▲ 4	신규손상
	박리	m ²	-	0.8/1	▲ 0.8/1	신규손상
	망상균열	m ²	2.5/1	2.5/1	- -	증감없음
	보수부 재균열	m	226.2/213	225.6/212	▼ -0.6/-1	보수실시
	차광판 파손	ea	-	4	▲ 4	신규손상
	차량사고흔적	m ²	-	3.3/2	▲ 3.3/2	신규손상
	철근노출 및 파손	m ²	3.3/128	3.3/128	- -	증감없음
바닥판 하 면	cw=0.3mm미만 균열	m	9.6/8	54.9/46	▲ 45.3/38	신규손상
	cw=0.3mm이상 균열	m	-	0.5/1	▲ 0.5/1	신규손상
	망상균열	m ²	-	23.0/3	▲ 23.0/3	신규손상
	박락	m ²	-	0.41/5	▲ 0.41/5	신규손상
	백태	m ²	-	1.46/7	▲ 1.46/7	신규손상
	재료분리	m ²	-	0.38/3	▲ 0.38/3	신규손상
	철근노출	m ²	-	0.7/3	▲ 0.7/3	신규손상
거 더 외 부	긁힘	m ²	-	0.25/3	▲ 0.25/3	신규손상
	도장탈락	m ²	-	0.14/14	▲ 0.14/14	신규손상
	점부식	m ²	-	3.0/1	▲ 3.0/1	신규손상
거 더 내 부	도장불량	m ²	0.85/21	1.21/21	▲ 0.36/0	물량조정
	부식	m ²	0.12/1	0.12/1	- -	증감없음
	우수유입흔적	ea	164	229	▲ 65	신규손상
	이물질퇴적	m ²	14.75/4	45.75/5	▲ 31/1	신규손상

〈표 3.24〉 전차 점검결과와 비교(계속)

구 분		단위	‘14년 점검	‘15년 진단	증감	비고
			수량/개소	수량/개소		
교대, 교각	0.3mm 미만 균열	m	70.1/70	109.8/83	▲ 39.7/13	신규손상
	0.3mm 이상 균열	m	6.0/2	12.4/6	▲ 6.4/4	신규손상
	망상균열	m ²	43.75/22	43.75/22	- -	증감없음
	철근노출 박락, 파손	m ²	0.26/4	1.54/6	▲ 1.28/2	신규손상
	백태	m ²	0.16/1	0.48/3	▲ 0.32/2	신규손상
	재균열	m	0.2/1	0.2/1	- -	증감없음
	재료분리	m ²	0.5/1	0.5/1	- -	증감없음
	점검로 볼트 파손	ea	1	1	- -	증감없음
	표면불량	m ²	-	3.0/1	▲ 3.0/1	신규손상
받침장치	균열cw=0.3mm미만	m	1.2/5	1.8/9	▲ 0.2/4	신규손상
	부식	ea	3	3	- -	증감없음
	재료분리	m ²	0.02/1	0.02/1	- -	증감없음
	파손	m ²	0.01/1	0.01/1	- -	증감없음
	전단키볼트접촉불량	ea	15	3	▼ -12	보수실시
	전단키 볼트 부식	ea	28	36	▲ 8	신규손상
신 축 이 음	후타재 균열	m	7.6/14	7.9/15	▲ 0.3/1	신규손상
	후타재 망상균열	m ²	0.48/2	0.48/2	- -	증감없음
	본체 부식	m ²	-	2.3/2	▲ 2.3/2	신규손상
	본체 토사퇴적	m	1.0/4	1.0/4	- -	증감없음
배수시설	배수구 막힘	ea	40	42	▲ 2	신규손상
	배수관 막힘	ea	-	1	▲ 1	신규손상
	배수관 파손	ea	1	1	- -	증감없음
	배수관 부식	ea	-	38	▲ 38	신규손상

3.2.2 외관조사 결과분석

가. 교면포장 및 보도부

외관조사결과 아스콘 균열, 아스콘 패임, 포장부 토사퇴적 등이 발생한 것으로 조사되었다. 2014년 정밀점검 이후 재포장이 실시된 것으로 추정되며, 현재 발생된 손상부는 재포장시 충분한 다짐이 시행되지 않은 손상으로 상태는 경미한 정도이며, 기 손상부는 지속적인 관찰 후 진전시 아스콘 패칭 등의 조치가 필요 하다. 바닥판하면에 포장부 누수로 인한 손상(균열부 백태) 등의 손상은 없는 것으로 보아, 재 포장시 방수층 등이 양호하게 시공되어진 것으로 판단된다.

나. 난간 및 연석

외관조사 결과 방호벽 균열 및 재균열, 망상균열, 철근노출 및 파손, 텔리네이트 파손 등이 조사되었고, 발생한 균열은 전차에 비해 신규손상이 일부 발생하였다. 균열 구간은 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열이며 0.3mm이상 균열은 주입보수 등의 조치가 필요하며, 0.3mm미만 균열 구간은 그 정도가 경미한 미세균열이므로, 즉각적인 보수조치 보다는 향후 손상의 진전 정도에 따라 일괄적인 표면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 텔리네이트, 차광판 파손은 외부 충격 등에 의한 것으로 사용성 확보를 위하여 교체 등의 조치가 필요하다. 기존 손상인 철근노출 및 파손 구간은 피복두께 부족, 외부 충격으로 인하여 발생한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하다.

다. 배수시설

외관조사결과 배수구 막힘과 배수관 파손, 배수관 부식(전개소)이 조사되었으며, 배수구 막힘은 공용 중 반복적인 통행 차량에 의한 토사퇴적으로 이는 우천시 체수를 유발하여 차량 주행성 및 사용성에 문제가 될 수 있으므로 주기적인 배수구 청소가 필요한 상태이고, 배수관 파손 및 부식은 공용기간 증가로 인하여 발생한 손상으로 상부슬래브와 배수관을 이어주는 접속부 및 배수관 접속부 전개소가 부식이 된 상태이다. 배수관 파손 및 부식은 구조적 손상은 아니나, 현재 부식의 상태가 심하고 부식의 추가 손상 우려가 존재하므로 교체 등의 조치를 권장한다.

라. 신축이음장치

외관조사결과 후타재 균열, 망상균열, 본체 토사퇴적, 본체 부식 등이 발생한 상태로 조사되었다. 후타재 균열, 망상균열은 건조수축에 의한 시공초기 균열로서 그 정도가 경미한 상태이므로 현 상태에서의 보수조치 보다는 지속적 관찰을 실시한 후, 손상 진전시 표면처리 등의 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 토사 퇴적 및 부식 구간은 장기공용에 인한 손상으로 청소 및 지속적인 관찰이 필요하다.

신축이음 유간(신축이음, 슬래브, 거더) 측정결과를 토대로 온도변화에 따른 유간 변화량 검토결과, 하절기 최대 신장시 유간 여유량이 충분한 상태였으며, 동절기 최대 수축시 역시 허용 이동량 범위 내로 유간에 따른 교량의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다

마. 바닥판

외관조사결과, 균열 및 망상균열, 백태, 박락, 철근노출 등이 발생한 상태로 조사되었다.

균열 및 망상균열은 기존 점검시 누락된 손상으로 판단되며, 기손상부는 시공초기 건조수축에 의해 발생한 균열로 지속적인 관찰 후 진전시 주입보수, 표면처리 등의 조치가 필요하다. 콘크리트 박락, 철근노출, 재료분리 구간은 시공불량 및 외부 충격에 의한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하며, 콘크리트 백태 구간은 손상이 경미하므로 지속적인 관찰 후 진전시 표면처리 등의 조치가 요구된다.

바. 거더 및 가로보

외관조사결과, 거더 및 가로보 거더외부에 도장긁힘, 도장탈락, 점부식이 조사되었으며, 거더내부 이물질퇴적, 도장불량, 우수유입흔적, 부식이 조사되었다. 가로보는 손상이 없는 양호한 상태이다.

기 발생한 도장손상(도장긁힘, 도장부식, 도장탈락)은 시공미흡 및 외부충격에 의한 손상으로 지속적인 관찰 후 진전시 재도장이 필요하며, 거더내부에 발생한 우수유입 흔적 구간은 스플라이스부를 통한 우수유입으로 판단되며, 이물질퇴적은 외부인 출입에 의한 손상으로 우수유입 및 이물질퇴적은 청소, 시진장치 체결을 통한 유지관리가 요망된다.

사. 받침장치

외관조사결과 본체 파손, 편기, 신축기능 불량 등 구조적 손상은 조사되지 않았으나, 국부적인 받침장치 부식, 받침콘크리트 및 무수축물탈 균열, 재료분리, 콘크리트 파손, 전단키 접촉불량 등이 조사되었다. 기 손상부는 공용기간 증가 및 건조수축에 의한 손상으로 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리, 채도장 등의 조치가 요망되며, 전단키 접촉불량은 전차 점검에 비해 수량이 다소 줄었으나, 접촉흔적은 유지하고 있는 바, 손상이 남아 있는 것으로 사료되며, 지속적인 관찰이 필요하다.

받침장치의 이동량 검토결과, 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

연단거리 분석결과, 전 구간 모두 실측 연단거리가 도로교 설계기준 최소 연단거리 이상으로 측정되어, 연단거리에 따른 구조물의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

아. 교대 및 교각

외관조사결과 교대 및 교각은 균열 및 망상균열, 재균열, 콘크리트 파손, 철근노출, 백태 등이 발생한 상태로, 균열 및 망상균열 구간은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 주의관찰이 요망되나, 폭 0.3mm이상의 균열은 주입보수 등의 조치가 필요하다. 교각 P3 우측 코핑 하면에 발생한 교축직각방향의 폭 0.2mm균열은 휨균열로 판단되며, 주의관찰 후 손상의 진전시 주입보수 등의 조치가 요망된다.

기존 손상인 철근노출, 백태, 재료분리 등의 손상은 주기적인 관찰이 필요하며, 손상부 규모가 미미하므로 현 상태에서의 보수조치 보다는 향후 손상의 진전시 단면보수, 표면처리 등의 조치가 요구된다.

3.3 내구성 시험

3.3.1 개 요

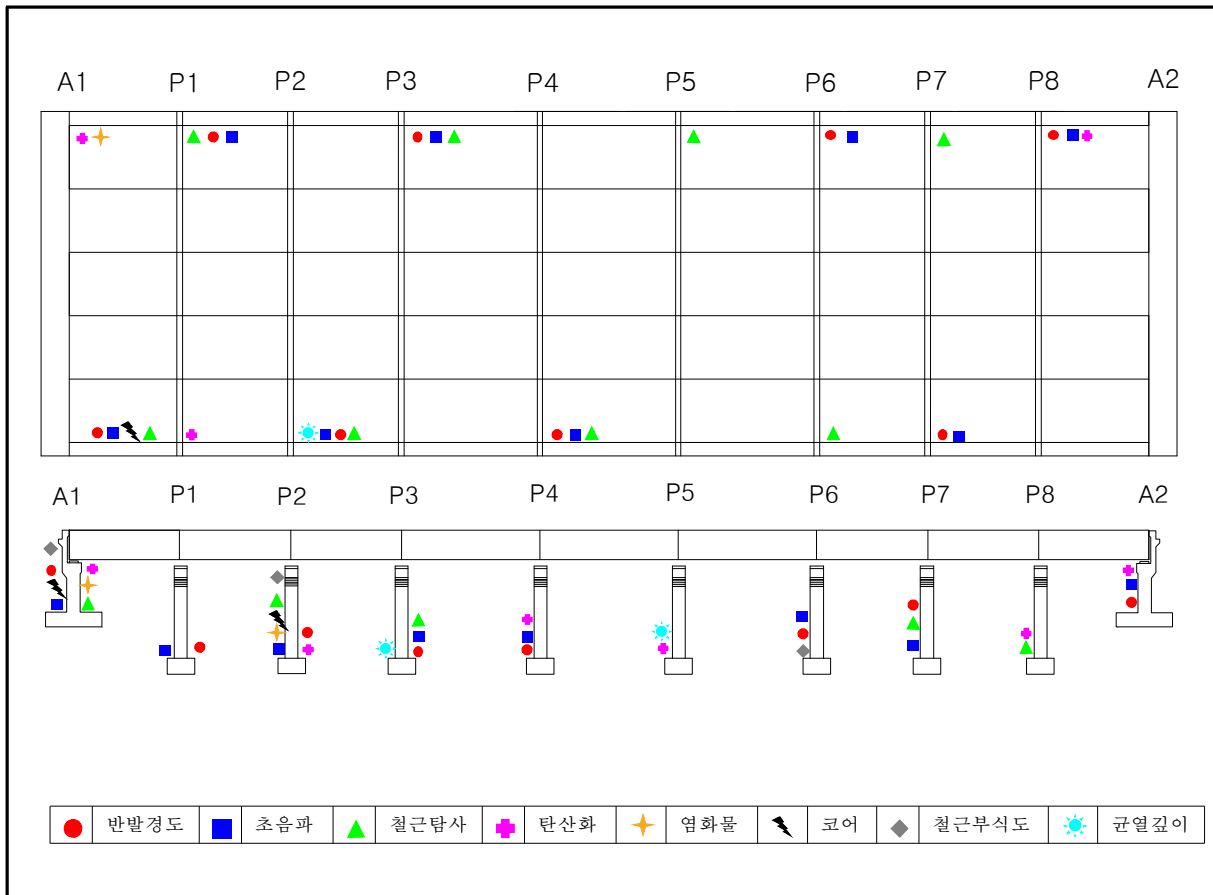
재료시험은 구조물에 열화 손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하기 위함이며, 아직 열화 손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

〈표 3.25〉 내구성조사 항목 및 계획

내구성조사 항목	조 사 방 법	조 사 내 용	비고
콘크리트 압축강도	반발경도법	- 슈미트햄머로 반발경도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
	초음파 속도법	- 초음파 전달속도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
	코어 채취	- 채취한 코어시료를 이용하여 콘크리트 강도를 측정	
철근탐사	전자파법	- 배근된 철근의 간격 및 피복두께 추정	
탄산화	페놀프탈레인 용액 이용	- 콘크리트 표면을 드릴링하고 그 구멍에 페놀프탈레인 용액을 분사하여 공용년수에 대한 탄산화상태 조사	
균열 깊이	초음파 속도	- 건전부와 균열부에 대해 초음파 속도를 측정하여 균열 깊이 추정	
철근부식도	전위차 측정	- 전위차를 이용하여 전압을 측정한 결과로부터 등전위 선도를 나타내어 철근 부식 확률을 추정	
염화물 함유량	염화물함유량 시험	- 구조물내 환산염화물 함유량을 측정하여 내구성평가의 기초자료로 활용	
강재 용접부 조사	초음파탐상시험 (UT)	- 초음파를 이용하여 맞대기 용접부 내부의 결함유무를 판정	
	자분탐상시험 (MT)	- 필렛 용접부에 자분이 응집되는 것을 관찰하여 결함유무를 판정	

〈표 3.26〉 내구성조사 현황

시험종류 부재	기본과업							선택과업			비고
	반발 경도	초음파	탄산화	철근 탐사	염화물 함유량	균열 깊이	강재 초음파	코어 강도	철근 부식도 시험	강재 자분 탐상	
상부	8개소	8개소	3개소	8개소	1개소	3개소	64개소	1개소	3개소	3개소	
하부	8개소	8개소	6개소	8개소	2개소			2개소			
계	16개소	16개소	9개소	16개소	3개소	3개소	64개소	3개소	3개소	3개소	



〈그림 3.13〉 내구성조사 위치

3.3.2 반발경도

가. 측정결과

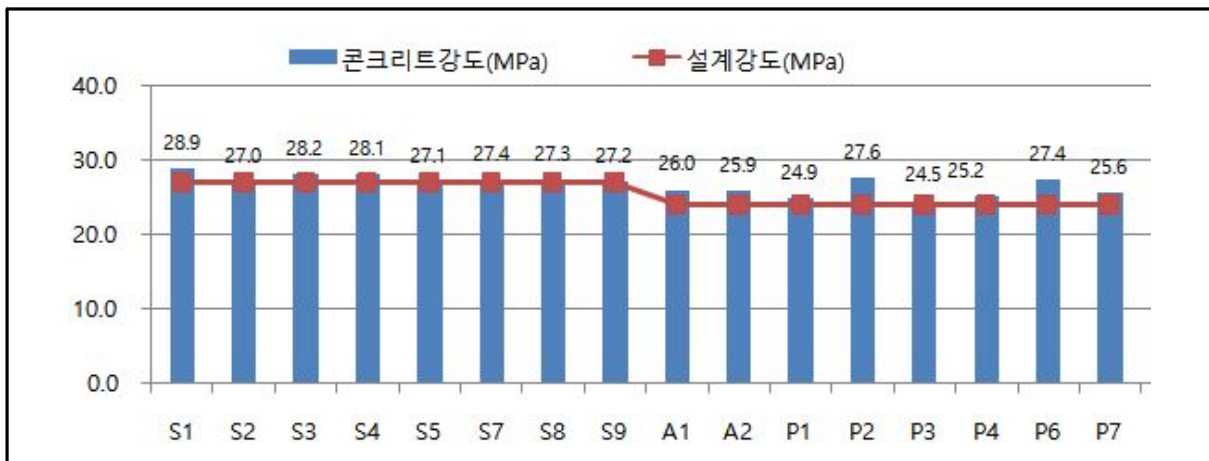
상부구조 및 하부구조에 대하여 반발경도 시험을 실시하였으며, 상부구조의 경우 바닥판 하면(켄틸레버)에서 측정하였으며, 교대는 구체 전면, 교각은 코핑 및 기둥부에서 반발경도 시험을 실시하였다.

〈표 3.27〉 반발경도 시험결과

구 분		기준 경도 (Ro)	재령 계수 (α)	재료 학회 (MPa)	건축 학회 (MPa)	측정강도 (MPa) (A)	설계강도 (MPa) (B)	(A/B)*100 (%)	비고
상부 구조	S1 바닥판	50.3	0.63	28.9	28.8	28.9	27.0	107	
	S2 바닥판	47.3	0.63	26.5	27.5	27.0		100	
	S3 바닥판	49.2	0.63	28.0	28.3	28.2		104	
	S4 바닥판	49.1	0.63	27.9	28.3	28.1		104	
	S5 바닥판	47.5	0.63	26.6	27.6	27.1		100	
	S7 바닥판	47.9	0.63	27.0	27.8	27.4		101	
	S8 바닥판	47.8	0.63	26.9	27.7	27.3		101	
	S9 바닥판	47.7	0.63	26.8	27.7	27.2		100	
하부 구조	A1 전면	45.7	0.63	25.2	26.8	26.0	24.0	108	
	A2 전면	45.5	0.63	25.1	26.7	25.9		107	
	P1 전면	43.9	0.63	23.8	26.0	24.9		103	
	P2 전면	48.2	0.63	27.2	27.9	27.6		115	
	P3 전면	43.3	0.63	23.3	25.7	24.5		102	
	P4 전면	44.4	0.63	24.1	26.2	25.2		105	
	P6 전면	48.0	0.63	27.0	27.8	27.4		114	
	P7 전면	45.0	0.63	24.7	26.5	25.6		106	



〈사진 3.19〉 반발경도 측정 현황



〈그림 3.14〉 반발경도시험 데이터 분포도

나. 코어와 반발경도와의 비교

〈표 3.28〉 코어와 반발경도와의 비교결과

위치	반발경도	일본재료학회		일본건축학회		코어강도 (MPa)	비고
		강도 (MPa)	코어강도 / 비파괴강도	강도 (MPa)	코어강도 / 비파괴강도		
A1	26.0	25.2	1.19	26.8	1.12	30.1	
P2	27.6	27.2	1.11	27.9	1.08	30.2	
S1	28.9	28.9	0.92	28.8	0.93	26.7	
상관계수 평균		-	1.07	-	1.04	-	

분석결과 본 현장에서는 일본건축학회 추정식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이에 따라 현장에서 획득한 반발경도를 일본건축학회식을 적용하되 상관계수 1.04를 곱하여 비파괴 강도를 추정하기로 하였다.

다. 콘크리트 압축강도 추정

〈표 3.29〉 콘크리트 추정 비파괴 강도

구 분		기준 경도	재령 계수	건축 학회	상관계수	추정강도 (MPa)	비고
상부 구조	S1 바닥판	50.3	0.63	28.8	1.04	30.0	
	S2 바닥판	47.3	0.63	27.5		28.6	
	S3 바닥판	49.2	0.63	28.3		29.4	
	S4 바닥판	49.1	0.63	28.3		29.4	
	S5 바닥판	47.5	0.63	27.6		28.7	
	S7 바닥판	47.9	0.63	27.8		28.9	
	S8 바닥판	47.8	0.63	27.7		28.8	
	S9 바닥판	47.7	0.63	27.7		28.8	
하부 구조	A1 전면	45.7	0.63	26.8		27.9	
	A2 전면	45.5	0.63	26.7		27.8	
	P1 전면	43.9	0.63	26.0		27.0	
	P2 전면	48.2	0.63	27.9		29.0	
	P3 전면	43.3	0.63	25.7		26.7	
	P4 전면	44.4	0.63	26.2		27.2	
	P6 전면	48.0	0.63	27.8		28.9	
	P7 전면	45.0	0.63	26.5		27.6	

반발경도 시험을 통한 콘크리트 압축강도 평가결과, 상부구조의 경우 27.0~28.9MPa, 하부구조의 경우 24.5~27.6MPa로 측정되었다. 이는 전회 정밀점검 결과인 상부구조 27.2~28.8MPa, 하부구조 24.7~27.0MPa과 유사한 상태로 전회와 비교시 강도의 저하 등의 열화는 없는 것으로 판단된다.

코어강도와 비교하여 상관계수를 곱하여 추정한 비파괴 강도는 상부구조의 경우 28.6~30.0MPa, 하부구조의 경우 26.7~29.0MPa로 측정되었다.

이는 부재별 설계기준 강도(상부 27.0MPa, 하부 24.0MPa)를 상회하는 것으로 반발경도법에 의한 콘크리트 품질은 양호한 것으로 분석되었다.

3.3.3 초음파 강도

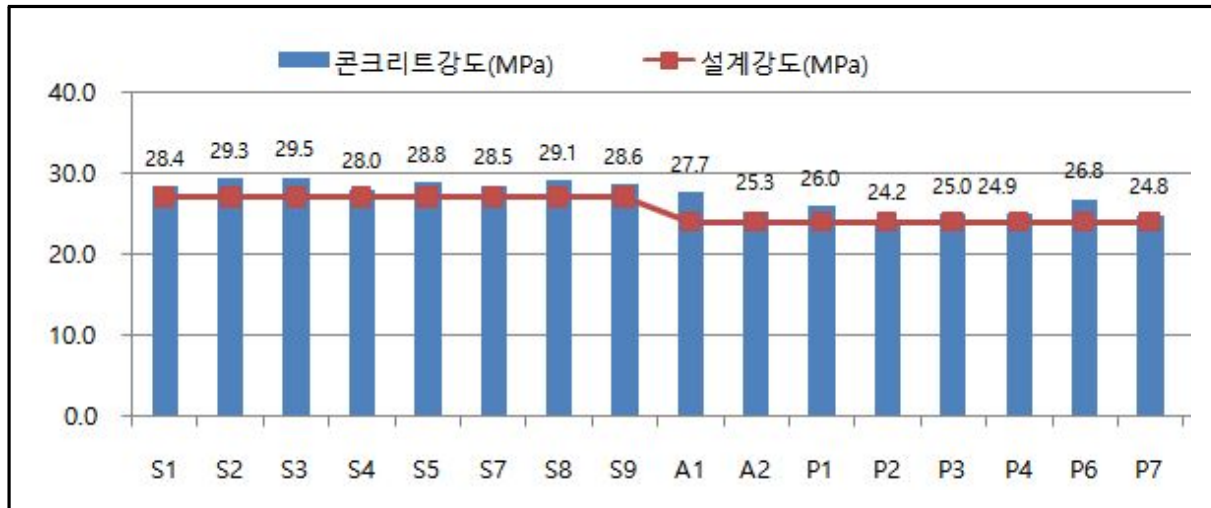


〈사진 3.20〉 초음파시험 측정 현황

가. 측정결과

〈표 3.30〉 초음파강도 시험결과

구 분		진달속도 Vd (km/s)	측정강도 평균(MPa) A	설계 기준강도(MPa) B	(A/B)*100 (%)	비고
상부 구조	S1 바닥판	4.230	28.4	27.0	105	
	S2 바닥판	4.276	29.3		108	
	S3 바닥판	4.282	29.5		109	
	S4 바닥판	4.208	28.0		103	
	S5 바닥판	4.253	28.8		107	
	S7 바닥판	4.238	28.5		106	
	S8 바닥판	4.264	29.1		108	
	S9 바닥판	4.242	28.6		105	
하부 구조	A1 전면	4.195	27.7	24.0	115	
	A2 전면	4.083	25.3		105	
	P1 전면	4.116	26.0		108	
	P2 전면	4.031	24.2		100	
	P3 전면	4.069	25.0		104	
	P4 전면	4.065	24.9		103	
	P6 전면	4.155	26.8		111	
	P7 전면	4.062	24.8		103	



〈그림 3.15〉 초음파 강도시험 데이터 분포도

나. 코어와 초음파강도와의 비교

〈표 3.31〉 코어와 초음파강도와의 비교결과

위치	초음파 전달속도	일본재료학회		일본건축학회		코어강도 (MPa)	비고
		강도 (MPa)	초음파강도 / 비파괴강도	강도 (MPa)	초음파강도 / 비파괴강도		
A1	4.195	30.5	0.99	27.7	1.09	30.1	
P2	4.031	29.7	1.02	24.2	1.25	30.2	
S1	4.230	30.5	0.88	28.4	0.94	26.7	
상관계수 평균		-	0.96	-	1.09	-	

분석결과 본 현장에서는 일본재료학회 추정식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이에 따라 현장에서 획득한 초음파강도를 재료학회식을 적용하되 상관계수 0.96를 곱하여 비파괴 강도를 추정하기로 하였다.

다. 콘크리트 압축강도 추정

〈표 3.32〉 콘크리트 추정 비파괴 강도

구 분		전달속도 Vd (km/s)	재료학회 (MPa)	상관계수	추정강도 (MPa)	비고
상부 구조	S1 바닥판	4.230	30.8	0.96	29.6	
	S2 바닥판	4.276	31.3		30.0	
	S3 바닥판	4.282	31.3		30.1	
	S4 바닥판	4.208	30.6		29.4	
	S5 바닥판	4.253	31.0		29.8	
	S7 바닥판	4.238	30.9		29.7	
	S8 바닥판	4.264	31.2		29.9	
	S9 바닥판	4.242	30.9		29.7	
하부 구조	A1 전면	4.195	30.5		29.2	
	A2 전면	4.083	29.3		28.2	
	P1 전면	4.116	29.7		28.5	
	P2 전면	4.031	28.8		27.7	
	P3 전면	4.069	29.2		28.0	
	P4 전면	4.065	29.2		28.0	
	P6 전면	4.155	30.1		28.9	
	P7 전면	4.062	29.1		28.0	

본 과업대상 구조물의 초음파속도를 이용한 콘크리트 압축강도 추정결과 상부구조의 경우 28.4~29.5MPa, 하부구조의 경우 24.2~27.7MPa로 측정되었다.

코어강도와 비교하여 상관계수를 곱하여 추정한 비파괴 강도는 상부구조의 경우 29.4~30.1MPa, 하부구조의 경우 27.7~29.2MPa로 측정되었다.

각 설계기준 강도인 27MPa, 24MPa를 상회하여 초음파속도법에 따른 콘크리트 강도는 양호한 것으로 분석되었다.

3.3.4 코어 압축강도 시험



〈사진 3.21〉 압축강도 시험 현황

〈표 3.33〉 압축강도 시험결과 측정 결과

측정위치	압축강도 (MPa)	설계기준 (MPa)	비 고
A1	30.1	24.0	
P2	30.2	24.0	
S1	26.7	27.0	

코어공시체에 의하여 강도를 측정한 결과, 상부구조는 26.7MPa, 하부구조 30.1~30.2MPa로 측정되었다. 하부구조는 설계기준 강도 24MPa를 만족시키는 양호한 상태로 판단되었고, 상부구조는 설계기준 강도인 27.0MPa 약간 작은 26.7MPa로 나타났다. 코어의 강도가 f_{ck} 의 75%이상(98.8%)이므로 평가기준의 의해 건전한 것으로 평가 되었다.

3.3.5 철근탐사



〈사진 3.22〉 철근탐사 현황

가. 시험결과

〈표 3.34〉 철근탐사 결과

연번	구 분	철근종류	측정 (mm)		설계 (mm)		배근상태 (%)
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
1	S1	주철근	125	57	120	55	96
		배력근	123	37	125	40	102
2	S2	주철근	124	58	120	55	97
		배력근	127	39	125	40	98
3	S3	주철근	140	55	120	55	86
		배력근	104	40	125	40	120
4	S4	주철근	145	55	120	55	83
		배력근	122	36	125	40	102
5	S5	주철근	136	55	120	55	88
		배력근	118	35	125	40	106
6	S6	주철근	140	53	120	55	86
		배력근	127	33	125	40	98
7	S7	주철근	133	51	120	55	90
		배력근	126	35	125	40	99
8	S8	주철근	143	52	120	55	84
		배력근	120	37	125	40	104
9	A1	수직근	148	54	125	67	84
		수평근	150	60	150	50	100
10	P2 기둥	주철근	120	105	100	122	83
		더철근	150	100	150	100	100
11	P2 코핑 상면	주철근	140	94	125	120	89
		배력근	153	76	150	100	98
12	P3 기둥	주철근	100	105	100	122	100
		더철근	150	98	150	100	100
13	P3 코핑 상면	주철근	125	114	125	120	100
		배력근	141	91	150	100	106
14	P7 기둥	주철근	110	107	100	122	91
		더철근	155	96	150	100	97
15	P8 기둥	주철근	113	105	100	122	88
		더철근	150	100	150	100	100
16	P8 코핑 상면	주철근	123	100	125	120	102
		배력근	140	91	150	100	107

상부 바닥판과 하부 교대 및 교각에 대하여 철근배근 탐사결과, 설계도면과 비교시 배근 간격은 설계 배근간격과 유사한 상태였으나, 실측 피복두께가 설계 피복두께를 만족하지 못한 구간이 일부 분석되었다.

3.3.6 탄산화

가. 시험결과

탄산화시험은 철근콘크리트 구조물에서 내구성을 평가하는 중요한 시험항목으로서 측정위치에 드릴, 망치, 정을 이용하여 국부적으로 파손시킨 면에 1% 페놀프탈레인용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정하였다.

〈표 3.35〉 탄산화 시험 결과

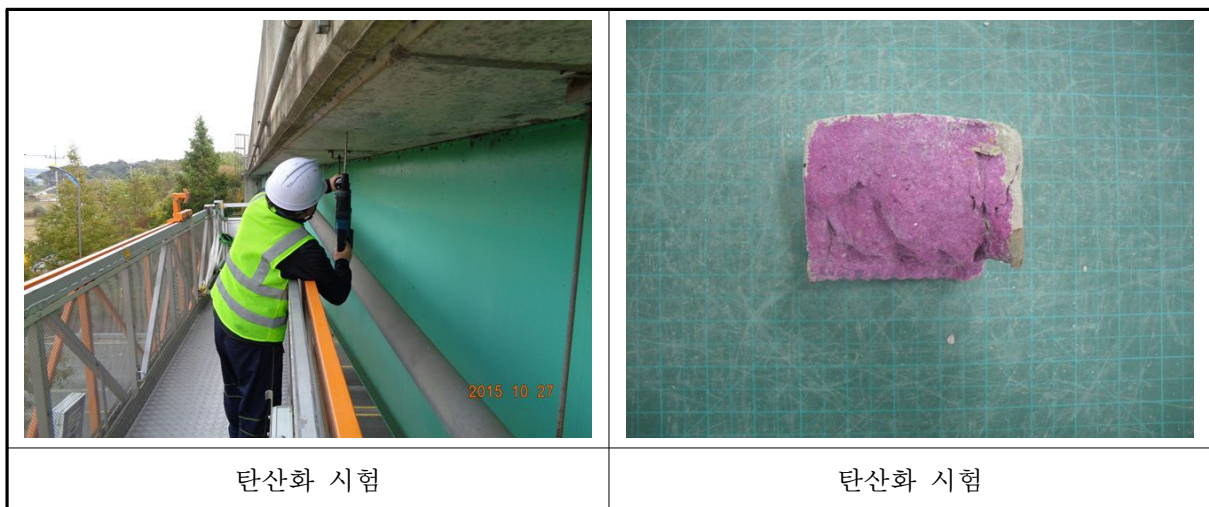
구 분		실측 탄산화 깊이(mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 기준	경과 년수 (년)	탄산화 속도계수 (mm/√년)	잔존수명 (년)
상부	S1 바닥판	3.8	34.0	30.2	a	11	1.15	50년 이상
	S2 바닥판	4.8	35.0	30.2	a	11	1.45	50년 이상
	S9 바닥판	4.0	35.0	31.0	a	11	1.21	50년 이상
하부	A1 전면	8.3	89.0	80.7	a	11	2.50	50년 이상
	A2 전면	10.3	70.0	59.7	a	11	3.11	50년 이상
	P2 전면	19.1	93.0	73.9	a	11	5.76	50년 이상
	P4 전면	11.2	91.0	79.8	a	11	3.38	50년 이상
	P5 전면	11.5	80.0	68.5	a	11	3.47	50년 이상
	P8 전면	13.2	91.0	77.8	a	11	3.98	50년 이상

※ 탄산화 잔여깊이 평가기준 ⇒ a등급 : 30mm이상, b등급 : 30mm~10mm, c등급 : 10mm~0mm

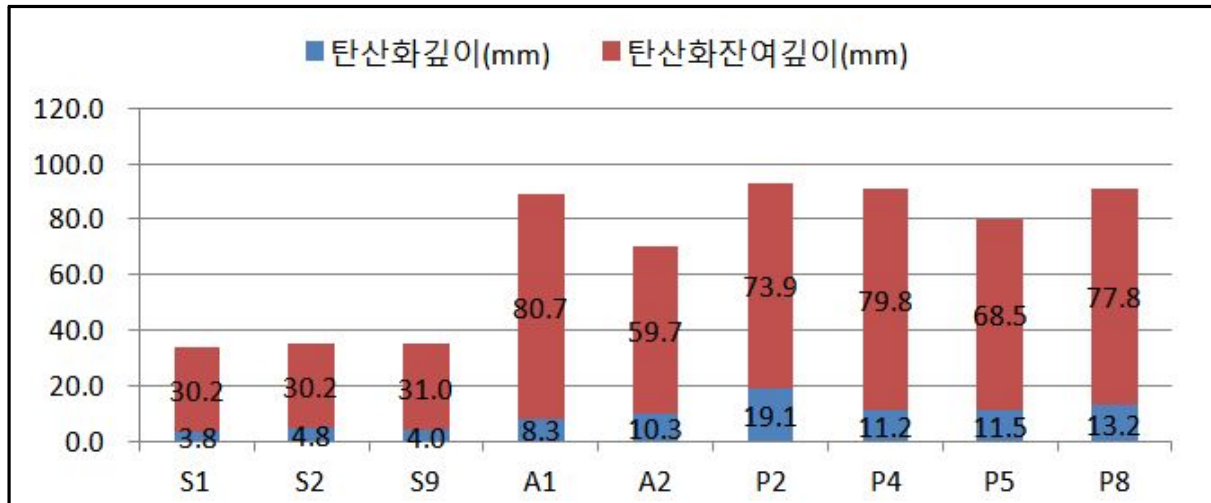
※ 탄산화 속도계수 ⇒ 탄산화 깊이/√경과시간(년)

※ 수명예측(년) ⇒ (철근피복/탄산화 속도계수)²

※ 잔존 수명예측(년) ⇒ 수명 예측년수 - 경과년수



〈사진 3.23〉 탄산화 현황



<그림 3.16> 탄산화시험 결과분석

탄산화 시험결과, 상부구조의 탄산화 깊이는 4.0mm~4.8mm, 하부구조의 경우 8.3mm~19.1mm로 측정되었다. 탄산화 잔여깊이 30mm이상으로 탄산화 상태등급 a등급으로 탄산화에 의한 철근부식 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

전회 정밀점검과 탄산화 잔여깊이인 상부구조 30.2mm~33.1mm, 하부구조 64.7mm~84.1mm과 비교시 탄산화의 진행은 거의 없는 것으로 확인되었다.

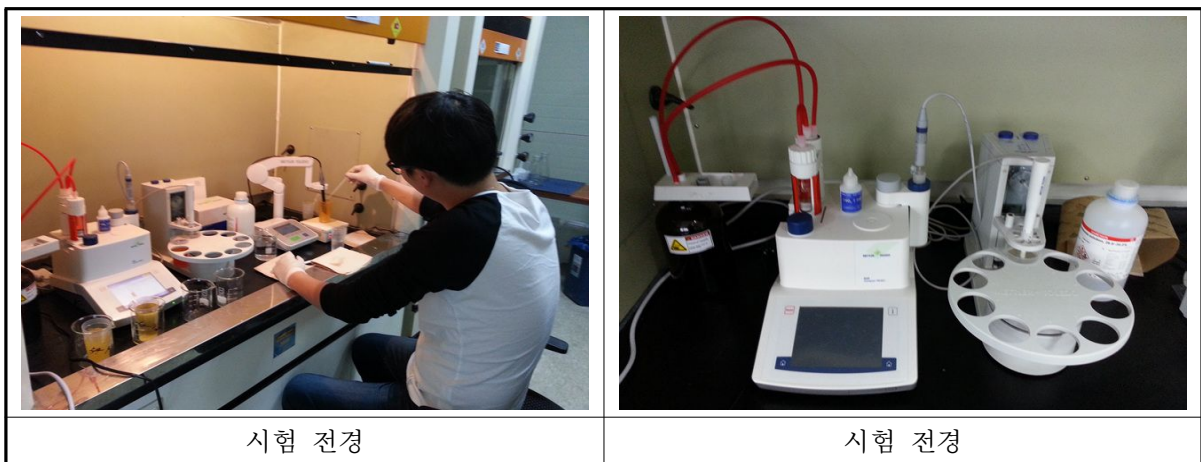
3.3.7 염화물 함유량

가. 시험 결과

콘크리트에 포함되어 있는 염분 함유량을 측정하여 내구성 저하원인 및 구조물 상태평가의 기초자료로 파악하고자 국가공인 품질시험기관에 의뢰한 결과는 다음과 같다.

〈표 3.36〉 염화물 함유량 시험 결과

구 분			전 염화물 (%)	환산 염화물 함량 (kgf/m ³)	평가결과
상부구조	S1	0mm~20mm	0.0979	2.215	A
		20mm~40mm	0.0198	0.448	
		40mm~60mm	0.0087	0.196	
하부구조	A1	0mm~20mm	0.0106	0.239	A
		20mm~40mm	0.0094	0.212	
		40mm~60mm	0.0085	0.192	
	P2	0mm~20mm	0.1174	2.656	B
		20mm~40mm	0.1017	2.301	
		40mm~60mm	0.0327	0.74	



〈사진 3.24〉 염화물 함유량시험 현황 (시험실 제공)

상부구조(바닥판 상면)와 하부구조(교대)에 대해서 시료를 채취하여 염화물함량 분석을 실시하였다. 하부구조의 시험깊이가 주철근 피복두께 미만으로 시험을 하였지만, 시험깊이의 염화물함량이 피복두께로 환산하였을 경우, A등급으로 판단되므로, 60mm깊이 까지 시험결과를 수록하였다.

시험결과, S1 바닥판 상면과 A1 전면에서 A등급(염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음), 그 외 P2 교각에서는 B등급(염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음)으로 분석되었다.

3.3.8 초음파속도법에 의한 균열깊이 평가

가. 측정 결과

건전부의 전달시간을 측정한 후 균열부에서 Tc-To법으로 균열부에 대칭으로 전달시간을 측정하여 균열의 깊이를 계산하였다.

하부구조 교각 구체에 발생한 균열(cw=0.3mm이상)에 대하여 측정을 실시하였고, 결과는 아래와 같이 나타났으며, 균열 깊이의 정도를 비교하기 위해서 실측 피복두께와 함께 표시 하였다.

〈표 3.37〉 균열 깊이 측정결과

구 분		측정 거리 (mm)	초음파 전달시간		균열 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	균열 폭 (mm)	비고
			건전부 To	균열부 Tc				
상부 구조	S3	150	51.2	292.1	42.1	38.0	0.3	
하부 구조	P3	150	34.1	95.7	19.7	114.0	0.3	
	P5	150	44.9	143.2	22.7	89.0	0.3	



균열 깊이 측정현황

〈사진 3.25〉 균열 깊이 측정현황

균열 깊이 측정결과 총 3개소 중 1개소가 피복두께 이상이며, 그 외 구간은 양호한 상태로 측정되었다. 하지만, 0.3mm이상의 균열에 대해서는 내구성저하(철근부식) 우려가 있으므로, 0.3mm이상 균열에 대해서는 내구성 확보를 위해 즉각적인 주입보수가 필요한 것으로 판단된다.

3.3.9 철근 부식도 조사

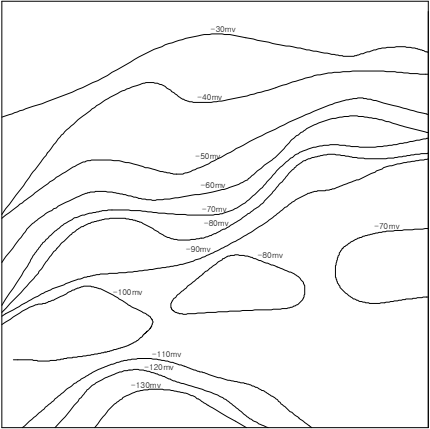
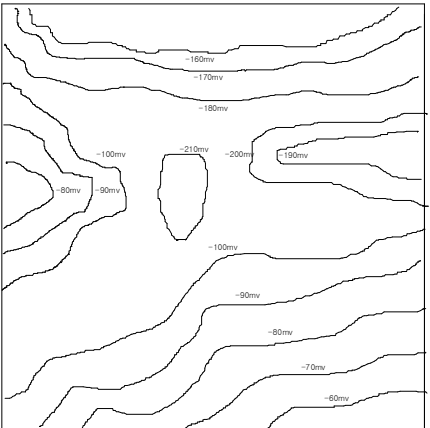
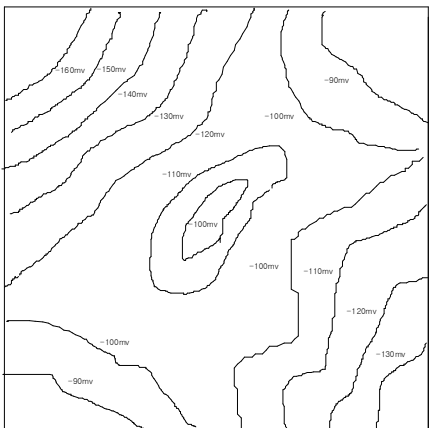
〈표 3.38〉 전위에 의한 철근부식 평가 기준

부식 등급	KS F 2712 규격	
	자연전위 E (mV)	부식확률 P(%)
I	$E > -200$	90% 이상의 확률로 부식없음
II	$-200 \geq E > -350$	불명확
III	$-350 \geq E$	90% 이상의 확률로 부식 있음



〈사진 3.26〉 철근부식도 현황

〈표 3.39〉 철근부식도 결과표

위치	철근부식도	평가
A1 흥벽		90% 이상의 확률로 부식없음
P2 코핑부		불명확
P6 기둥부		90% 이상의 확률로 부식없음

측정결과, A1, P6 전위차는 $-30\text{mV} \sim -130\text{mV}$ 정도의 분포를 나타내고 있으며, 측정결과를 전위에 의한 철근부식 평가기준과 비교·검토할 때 현재 대상 구조물의 부식확률은 약 10% 이하로 콘크리트 단면이 건전한 구간에 대해서는 철근부식이 활성화 될 가능성은 크지 않은 것으로 판단되며, P2 코핑부 전위차는 $-60\text{mV} \sim -210\text{mV}$ 정도의 분포를 나타내고 있으며, 측정결과를 전위에 의한 철근부식 평가기준과 비교·검토할 때 현재 대상 구조물의 부식확률은 일부구간 불명확 상태이고, 그 외 구간은 10%이하로서 철근부식이 활성화 될 가능성은 크지 않은 상태이다.

3.3.10 강재 초음파탐상 (UT : Ultrasonic Testing)

〈표 3.40〉 결함의 등급분류

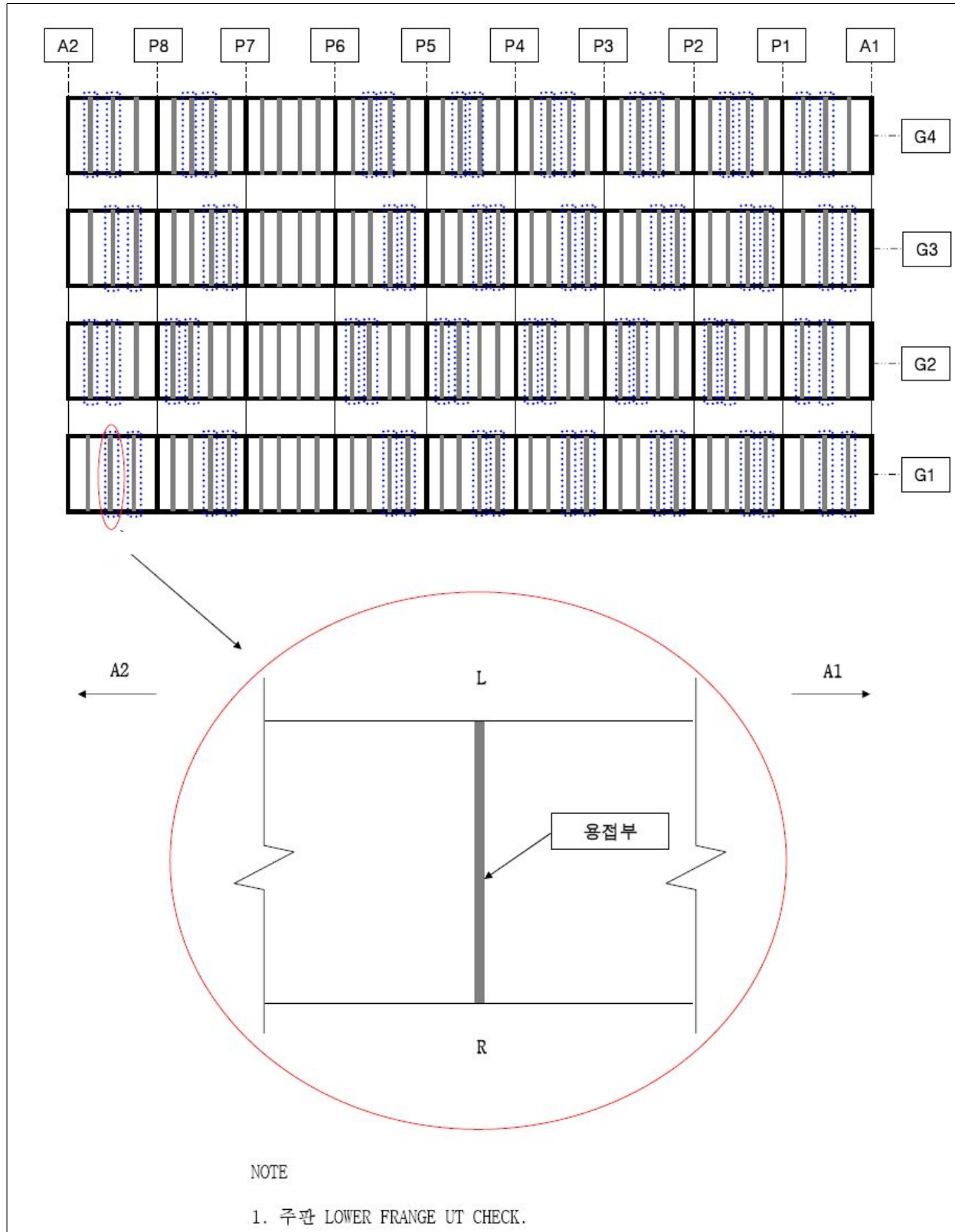
영역	결함의 크기 (mm)					
	II, III			IV		
판 두께 등 급	18이하	18~60	60이상	18이하	18~60	60이상
1 급	6이하	t/3이하	20이하	4이하	t/4이하	15이하
2 급	9이하	t/2이하	30이하	6이하	t/3이하	20이하
3 급	18이하	t 이하	60이하	9이하	t/2이하	30이하
4 급	3급을 초과하는 것					

〈표 3.41〉 용접부 결함의 합부 판정기준

검사 부위	합 격 기 준	비 고
인장측	2급 이상	KS-B-0896
압축측	3급 이상	



〈사진 3.27〉 강재 초음파탐상시험 현황



<그림 3.17> 강재초음파 위치도

가. 시험결과

〈표 3.42〉 강제 초음파탐상 시험결과

번호	위치		수량	판정		등급	결함위치		결함길이	깊이	비고
				합	불		From	From			
1	G1	A1~P1	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
2	G1	P1~P2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
3	G1	P2~P3	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
4	G1	P3~P4	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
5	G1	P4~P5	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
6	G1	P5~P6	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
7	G1	P7~P8	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
8	G1	P8~A2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
9	G2	A1~P1	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
10	G2	P1~P2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
11	G2	P2~P3	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
12	G2	P3~P4	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
13	G2	P4~P5	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
14	G2	P5~P6	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
15	G2	P7~P8	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
16	G2	P8~A2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				

〈표 3.42〉 강재 초음파탐상 시험결과(계속)

번호	위치		수량	판정		등급	결함위치		결함길이	깊이	비고
				합	불		From	From			
17	G3	A1~P1	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
18	G3	P1~P2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
19	G3	P2~P3	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
20	G3	P3~P4	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
21	G3	P4~P5	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
22	G3	P5~P6	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
23	G3	P7~P8	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
24	G3	P8~A2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
25	G4	A1~P1	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
26	G4	P1~P2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
27	G4	P2~P3	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
28	G4	P3~P4	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
29	G4	P4~P5	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
30	G4	P5~P6	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
31	G4	P7~P8	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				
32	G4	P8~A2	2개소	√		I	NO RECORDABLE INDICATION				

본 과업대상 구조물의 용접부 강재 초음파 탐상시험 결과, 결함 등급은 1등급으로 조사되어 양호한 것으로 판단된다.

3.3.11 자분탐상시험 (MT : Magnetic Particle Testing)

〈표 3.43〉 용접부 결함의 합·부 판정기준

등 급	결함지시의 길이	비 고
1 급	1mm초과 2mm이하	
2 급	2mm초과 4mm이하	
3 급	4mm초과 8mm이하	
4 급	8mm초과 16mm이하	
5 급	16mm초과 32mm이하	
6 급	32mm초과 64mm이하	
7 급	64mm초과	

Steel Box Girder 내부의 플랜지와 복부 연결부, 보강재 연결부의 필렛 용접상태를 확인하기 위하여 조사하였다.

판정기준은 원형결함 2.0mm이하인 판독결함의 경우만을 합격으로 하고 나머지 균열에 의한 지시, 선형결함지시, 연속결함지시 및 분산지시의 경우는 불합격으로 처리하였다.

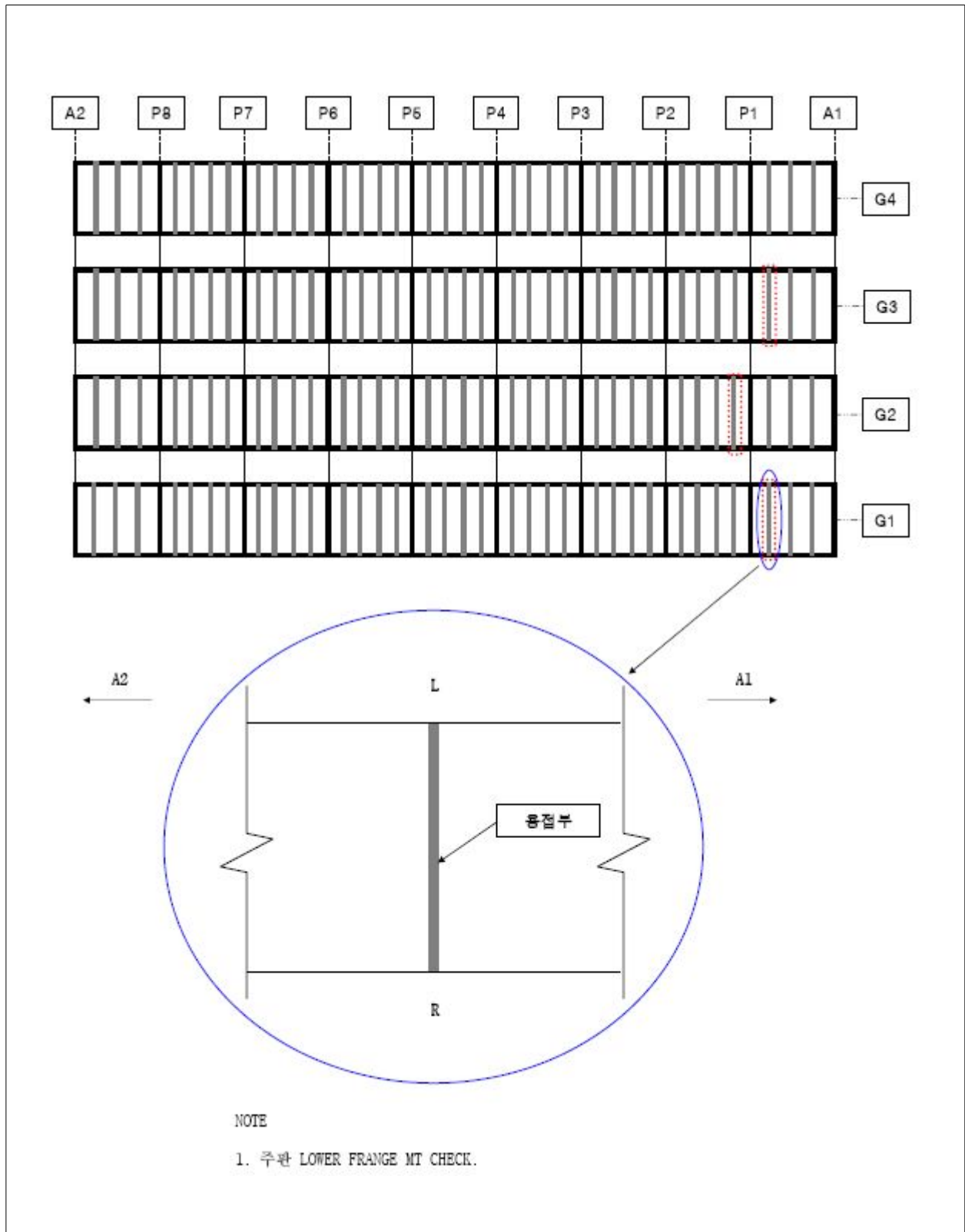


자분탐상 시험



자분탐상 시험

〈사진 3.28〉 자분탐상시험 현황



〈그림 3.18〉 자분탐상 위치도

〈표 3.44〉자분탐상시험 결과

번호	거더	위치	검사개소	무결함	결함	비고
1	G1	A1~P1	1	1	0	
2	G2	P1~P2	1	1	0	
3	G3	A1~P1	1	1	0	
합 계			3	3	0	

KS D 0213의 검사기준에 의거 시험대상 용접부 3개소에 대하여 자분탐상을 실시한 결과 기공 및 Under Cut 등 표면결함이 검출되지 않은 양호한 상태로 평가 되었다.